

Aus dem Institut für Physiologie und Biokybernetik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Vorstand: Professor Dr. W. D. Keidel

ÜBER VARIABILITÄT UND LÄRMINDUZIERTER VERÄNDERUNGEN DES AKUSTISCH EVOZIERTE HIRNSTAMMPOTENTIALS

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Theo Neudeck
aus Miesenheim

1983

1983 # 251



Aus dem Institut für Physiologie und Biokybernetik
der Universität Erlangen - Nürnberg

Vorstand: Professor Dr. W. D. Keidel

ÜBER VARIABILITÄT UND LÄRMINDUZIERTER VERÄNDERUNGEN DES AKUSTISCH EVOZIERTEN HIRNSTAMMPOTENTIALS

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Theo Neudeck
aus Miesenheim

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. V. Becker
Referent: Prof. Dr. M. Spreng
Korreferent: Prof. Dr. W.D. Keidel

Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.1983

Gewidmet meiner Frau und meinen Eltern



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546217_0028

- 1 Einleitung
 - 1.1 Anatomie des Gehörsinnes
 - 1.2 Messung akustisch evozierter Potentiale
 - 1.3 Ziele der Arbeit
- 2 Material und Methoden
- 3 Ergebnisse
 - 3.1 Veränderungen der Hirnstammpotentiale bei ver-
 änderter Reizintensität in zwei Versuchsanordnungen
 - 3.1.1 Verhalten der absoluten und relativen Latenzwerte
 - 3.1.2 Verhalten der Amplituden
 - 3.2 Variabilität innerhalb einer größeren Gruppe von
 Registrierungen unter konstanten Bedingungen
 - 3.2.1 Variabilität der Latenzen
 - 3.2.2 Variabilität der Amplituden
 - 3.2.3 Variabilität der Potentialform
 - 3.3 Lärminduzierte Veränderungen der Hirnstammpotentiale
 - 3.3.1 Verhalten der Latenzwerte
 - 3.3.2 Verhalten der Amplitudenwerte
- 4 Diskussion
- 5 Zusammenfassung
- 6 Literatur

1. Einleitung

Der Gehörsinn nimmt im emotionalen und intellektuellen Erleben des Menschen einen zentralen Platz ein. Er ist eingeschaltet in eine Reihe von Reflexen und Reaktionen, die eine sichere Orientierung in der biologischen Umwelt ermöglichen, und nimmt andererseits als Vermittler von Musikempfinden und Sprache Einfluß auf die komplexesten Leistungen des menschlichen Geistes.

1.1. Anatomie des Gehörsinnes

Im Dienste des Gehörsinnes stehen neben dem Hörorgan eine Reihe von anatomisch abgrenzbaren Kerngebieten in Hirnstamm, Mittelhirn, Zwischenhirn und Hirnrinde, die in ihrer Gesamtheit als zentrale Hörbahn bezeichnet werden.

Die adäquate Reizung des akustischen Systems erfolgt durch Schallwellen mit Frequenzen von 20 - 20 000 Hz. Diese periodischen Luftdruckschwankungen werden vom Antransportorgan (RANKE 1953), bestehend aus Ohrmuschel, äußerem Gehörgang, Trommelfell, Mittelohr mit Gehörknöchelchenkette und Mittelohrmuskeln an das eigentliche Gehörorgan im Innenohr herangeführt.

Das Innenohr liegt in der Tiefe des Felsenbeins im knöchernen Labyrinth. Es wird durch das häutige Labyrinth in eine obere Scala vestibuli und eine untere Scala tympani unterteilt. Beide Kompartimente sind mit Perilymphe ausgefüllt und stehen am vom Steigbügel abgewandten Teil der Schnecke, dem Helikotrema, miteinander in Verbindung. Der Steigbügel verschließt das Foramen ovale, die Verbindung zwischen Scala vestibuli und Mittelohr. Die Scala tympani ist durch eine Membran zum Mittelohr hin geschlossen. In der Scala vestibuli wird durch eine dünne Membrana vestibularis (Reisner'sche Membran) zur seitlichen Wand des knöchernen Schneckengangs

hin ein im Querschnitt dreieckige Scala media abgegrenzt. Die Basalmembran bildet den Boden der Scala media und die Begrenzung gegen die Scala tympani. Über die gesamte Länge der Schnecke entsteht so eine als Ductus cochlearis bezeichnete Struktur. Sie endet blind an der Schneckenbasis bzw. kurz unterhalb der Schneckenspitze und ist ausgefüllt mit Endolymphe. Die Basalmembran ist Träger des eigentlichen sensorischen Apparates, des Corti'schen Organs, bestehend aus Rezeptorzellen und Stützzellen. Die Rezeptorzellen werden auch als Haarzellen bezeichnet, wegen der als feine Härchen erscheinenden Stereozilien an der von der Basalmembran abgewandten Seite der Zellen. Sie ruhen auf Stützzellen, die ihrerseits auf der Basalmembran schräg aufsitzen und somit einen inneren Tunnel abgrenzen, der mit einer von der Endolymphe verschiedenen Flüssigkeit gefüllt ist, der sogenannten Cortilymphe.

Rezeptorzellen und Stützzellen werden von der in der Endolymphe schwebenden Membrana tectoria überdeckt und vom übrigen Endolymphraum der Scala media abgegrenzt. Es entsteht so ein inniger Kontakt zwischen den Stereozilien der Rezeptorzellen und der Tektorialmembran.

Die Ohrmuschel und der äußere Gehörgang dienen lediglich der passiven Weiterleitung der Schallwellen. Auftreffende Schallwellen bewirken eine Auslenkung des Trommelfells am Ende des äußeren Gehörganges, die sich auf die beweglich aufgehängten Gehörknöchelchen im Mittelohr überträgt.

Die Mittelohrstrukturen verstärken den Effekt des auftreffenden Schallwechseldruckes um den Faktor 22 und ermöglichen über reflektorische Kontraktionen der Mittelohrmuskeln einen Schutz der Rezeptoren im anschließenden Innenohr vor zu starken Schallreizen, die diese sonst schädigen oder zerstören würden. Vor allem aber bewirkt das Mittelohr eine Anpassung der Schallwellenwiderstände von Luft an die wesentlich höheren Widerstände in der Perilymphe, die das Innenohr ausfüllt. Das letzte Glied der Gehörknöchelkette, der Steigbügel, verschließt das Foramen



ovale der Scala vestibuli zum Mittelohr hin. Bewegung des Steigbügels wird fortgeführt in einer Bewegung der inkompressiblen Perilymphe in der Scala vestibuli, dann der kommunizierenden Scala tympani und schließlich einer zum Staples gegensinnigen Auslenkung der Abschlußmembran des Foramen rotundum. Diese Volumenverschiebung bewirkt am basalen, stapesnahen Teil der Scalentrennwand eine Auslenkung, die sich in Form einer Wellenbewegung in Richtung Helikotrema hin fortsetzt. Diese Auslenkung der Scala media führt zu Verschiebungen der Membrana tectoria gegenüber der Basalmembran, und wegen des Kontaktes der Sinneszellohärchen mit der Membrana tectoria zu Scherbewegungen an den Stereozilien.

Der Ort der maximalen Auslenkung der Trennwand und somit der Basalmembran ist nach der Wanderwellentheorie (RANKE, 1953) abhängig von der Wellenlänge bzw. der Frequenz, mit der die Anregung erfolgt, und liegt für hohe Frequenzen in Nähe des Steigbügels, für niedrige mehr in Richtung Helikotrema hin verschoben. Es werden so je nach Frequenz des Reizes örtlich verschiedene Sinneszellen über die Scherbewegungen ihrer Stereozilien erregt.

Außerdem entsteht durch die frequenzspezifische Laufzeit der Wanderwelle zum Ort ihres Maximums eine zeitliche Dispersion der Sinneszellerregung durch unterschiedliche Frequenzen.

Die Scherbewegungen der Sinneszellohärchen führen zu einer Änderung im Ruhepotential der Sinneszellen. Diese Änderung ist abhängig von der Schwelle und der Bestfrequenz der betreffenden Sinneszelle und über einen großen Bereich in Frequenz, Amplitude und Phase dem Schallreiz proportional. Die so ähnlich wie bei einem technischen Mikrophon entstehende Wechselspannung wird als Mikrofonpotential bezeichnet.

Man beobachtet daneben, vor allem bei Beschallung mit Schallreizen von längerer Dauer und höheren Frequenzen,

für die Dauer der Beschallung eine Verschiebung der Basislinie, um die die Mikrofonpotentiale schwanken; diese Gleichspannungsänderung wird als Summationspotential bezeichnet (SPRENG, 1975). Das Generatorpotential der Sinneszelle, das somit durch Reizung modifiziert wird, beeinflusst die Freisetzung eines Transmitters am synaptischen Übergang zu den an die Sinneszellen herantretenden Dendriten des 1. Neurons der zentralen Hörbahn. Die Perikaryozyten des 1. Neurons befinden sich in dem als Modeolus bezeichneten Teil der knöchernen Schnecke und bilden hier das Ganglion spirale. Die abführenden Neuriten treten zusammen zu Pars cochlearis des N. vestibulocochlearis. Die Transmittersubstanz bewirkt die Ausbildung eines Depolarisationspotentials im Dendriten und erhöht die Wahrscheinlichkeit für die Entladung der zugehörigen Nervenzelle. Die kontinuierliche Potentialänderung, mit der die Sinneszellen auf einen akustischen Reiz reagieren, wird so umgesetzt in diskrete Aktionspotentiale in den zugeordneten Hörnervenfaser. Die Folgefrequenz der Aktionspotentiale im Hörnerv wird modifiziert vom Betrag der Potentialänderung in der Sinneszelle und spiegelt diese wider. Nach KEIDEL (1975) besteht dabei eine doppeltlogarithmische Beziehung zwischen Reizstärke und Pulsdichte in der Faser. Der N. cochlearis besteht aus ca. 30 000 Einzelfasern, die topographisch derart angeordnet sind, daß an der Außenseite Fasern mit hoher Bestfrequenz, im Inneren des Nervenbündels Fasern mit niedriger Bestfrequenz verlaufen. Diese nebeneinander verlaufenden Fasern gleicher Bestfrequenz können jedoch Schwellenunterschiede bis zu 60 db aufweisen (KALLERT 1975). Nach Vereinigung mit dem Pars vestibularis aus dem Gleichgewichtsorgan tritt der Nerv im Kleinhirnbrückenwinkel in das Rautenhirn ein und teilt sich auf in zwei Faserbündel, von denen eines zum Nucl. cochlearis dorsalis, das zweite zum Nucl. cochlearis ventralis zieht.

In diesen Kernen liegen die 2. Neurone der Hörbahn. Für beide Cochleariskerne wurde eine tonotope Abbildung der Hörbahn nachgewiesen, die 30 000 Fasern des Hörnerven divergieren dabei auf ca. 90 000 Neurone in den Cochleariskernen. Andererseits steht jedes Neuron mit mehreren Sinneszellen in Verbindung, deren Erregungen somit im Neuron konvergieren. Die Fasern der 2. Neurone aus Nucl. cochlearis ventralis und dorsalis kreuzen größtenteils im Corpus trapezoideum zur Gegenseite, um in der gegenseitigen Oberen Olive (oder Nucleus dorsalis corporis trapezoidei) zu enden.

Ein Teil der Fasern verläuft zur gleichseitigen Oberen Olive. Hier liegen die 3. Neurone der Hörbahn, deren Anzahl mit ca. 34 000 weit geringer ist als die der Cochleariskerne.

Es bestehen ausgedehnte Verbindungen zwischen den Olivenkomplexen der beiden Körperseiten, als Voraussetzung für Laufzeit- und Intensitätsvergleiche zwischen beiden Ohren beim binauralen Hören. Im Oberen Olivenkomplex hat auch die peripherste efferente Bahn des Gehörsinnes ihren Ursprung, von hier verläuft der Tractus olivocochlearis (Rasmussenbündel) zu den Haarzellen des Cortiorgans, vor allem der Gegenseite.

Die Neuriten der 3. Neurone ziehen in einer langgezogenen Schleife, dem Lemniscus lateralis, um die oberen Kleinhirnstiele herum und enden zum größten Teil im Colliculus inferior der Gegenseite. Daneben bestehen noch Verbindungen zum gleichseitigen Colliculus inferior, die jedoch durch eine zusätzliche Synapse unterbrochen werden (JUNGERT, 1958).

In den Lemniscus lateralis ist ein wenig ausgeprägter Nucleus lemnisci lateralis eingestreut, in dem wenige Fasern des Lemniscus lateralis unterbrochen werden.

In den Colliculi inferiores geschieht dann eine weitere synaptische Umschaltung zum medialen Kniehöcker, Corpus geniculatum mediale, des Thalamus.

Neben den Fasern, die alle genannten Stationen durchlaufen haben, bestehen vielfältige direkte Verbindungen des Corpus geniculatum mediale zu den verschiedenen untergeordneten Zentren, und auf allen Stufen oberhalb der Nuclei cochleares bestehen außerdem Verbindungen zu den entsprechenden Strukturen der Gegenseite.

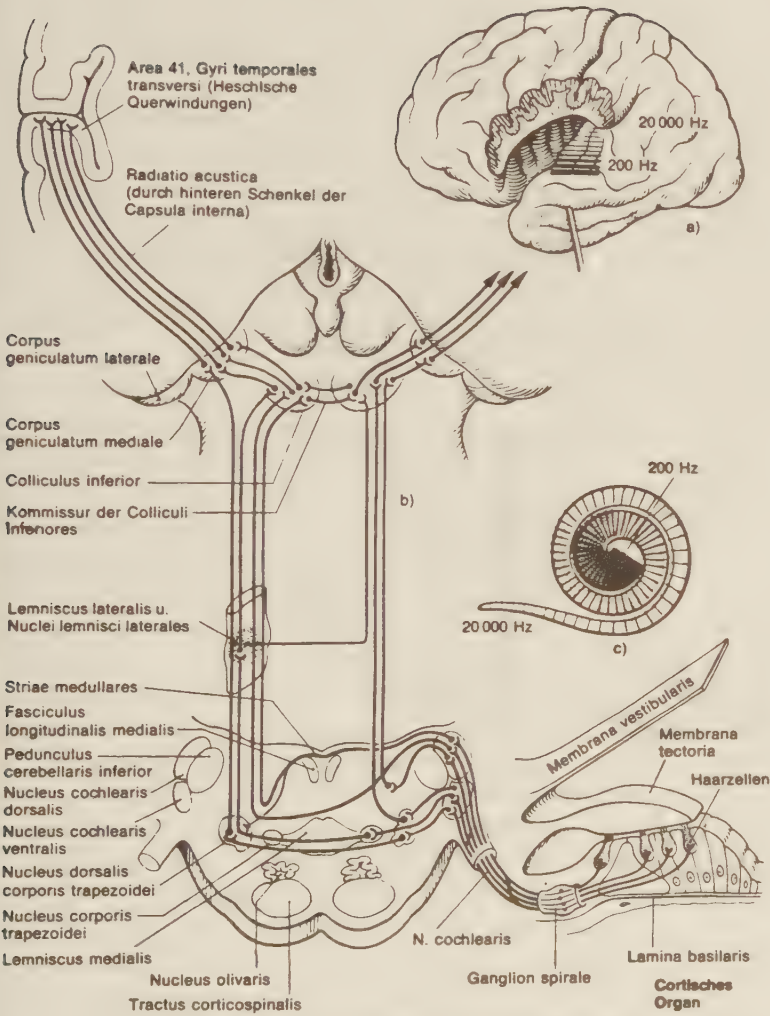
KEIDEL (1975) hat darauf hingewiesen, daß in diesen subkortikalen Zentren, im Gegensatz zu ähnlichen Zentren im Visuellen System, schon komplizierteste Informationsanalysen durchgeführt werden. Dies wird ermöglicht durch das Zusammenwirken mehrerer Typen von Zellen mit unterschiedlichen Einzelfunktionen, die teils akustische Information wie etwa Frequenz des Reizes mit Untersetzung bis in höhere Zentren weiterleiten, andererseits Zellen, die auf komplexe Weise auf Schallreize reagieren und deren Einzelzellaktivität nur als Ergebnis einer höchst komplexen Informationsverarbeitung verständlich erscheint. Eine besondere Rolle für die Wahrnehmung von Musik und für die Analyse von Phonemen spielen hierbei als spontanaktive Zeitgeber wirkende Zellen, die im Bereich des akustischen Systems von KEIDEL entdeckt wurden.

Vom Thalamus als dem Endpunkt der subkortikalen Hörbahn gelangen die elektrophysiologischen Korrelate der akustischen Information über den letzten Teil der Hörbahn, die Radiatio acustica im sublentikulären Teil der Capsula interna, zur primären Hörrinde im Temporallappen. Die Verbindungen zu sekundären und tertiären Rindenzentren ermöglichen dann die komplexen Leistungen und Gestaltwahrnehmungen im Zusammenhang mit Sprache und Musikempfinden.

In engem funktionalen und anatomischen Zusammenhang mit dieser skizzierten afferenten Hörbahn besteht eine efferente Hörbahn, über die höhere Zentren auf die Reizverarbeitung in niederen Zentren Einfluß nehmen können. Am genauesten

bekannt ist das olivocochleare Bündel von der Oberen Olive zu den ipsi- und contralateralen Haarzellen im Cortiorgan.

Einen Überblick vermitteln die schematisierten Darstellungen der afferenten Hörbahn in Bild 1a und 1b.



Schema der zentralen Verbindungen des N. cochlearis

Ed 1 a Schematische Darstellung der afferenten Hörbahn
(nach DUUS, Neurologisch-topische Diagnostik,
Thieme, Stuttgart 1980)

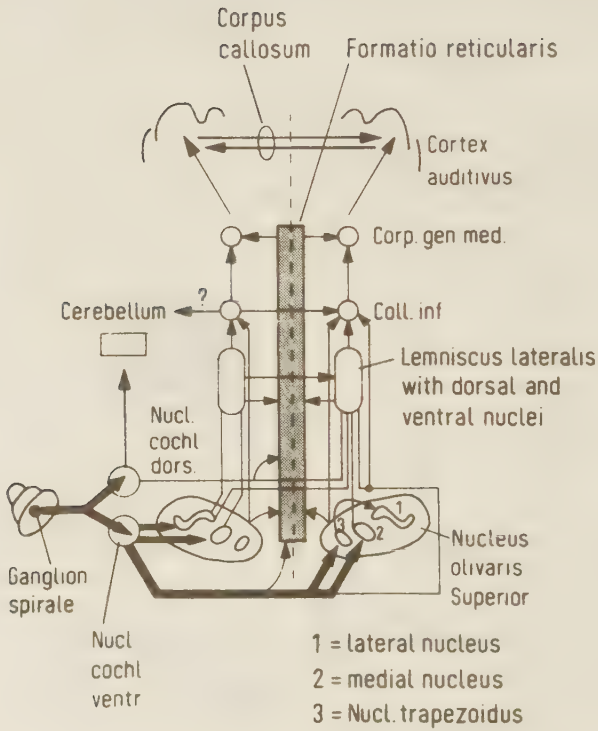


Bild 1 b Schematische Darstellung der afferenten Hörbahn

1.2. Messung akustisch evozierter Potentiale

Seit mehr als 100 Jahren ist bekannt, daß man von der Oberfläche des verletzten und des unverletzten Kopfes Spannungsänderungen ableiten kann, die ihren Ursprung in der elektrischen Aktivität des Gehirnes haben. Das so gewonnene Elektroencephalogramm (EEG) ist Ausdruck der unspezifischen Spontanaktivität des gesamten Gehirns, es läßt regelmäßige Veränderungen entsprechend dem Wachheitsgrad der Versuchsperson erkennen, ist abhängig vom Reifungsgrad des Gehirns und zeigt typische Veränderungen bei pathologischen Prozessen und bei pharmakologischer Beeinflussung.

Auch die Verarbeitung von Erregungen der spezifischen Sinnessysteme in den jeweiligen zugehörigen zentralnervösen Strukturen führt über Depolarisations- und Repolarisationsvorgänge zu elektrischen Erscheinungen, die entweder mit Mikroelektroden intrazellulär, in unmittelbarer Nähe auch extrazellulär, als Einzelzellverhalten gemessen werden können, oder die bei synchroner Entladung einer großen Zahl von Zellen auch in größerer Entfernung vom Ursprungsort als Spannungsänderung an der Oberfläche des Kopfes in Erscheinung treten. Die Beträge dieser Spannungsänderungen sind jedoch klein im Vergleich zu den Spannungsänderungen, die durch die Spontanaktivität des Gehirns hervorgerufen werden, und sie bleiben im allgemeinen somit im kontinuierlich registrierten EEG verborgen.

Eine relativ einfache Möglichkeit, den für ein Sinnessystem spezifischen Anteil aus dieser Hintergrundaktivität herauszulösen, stellt die Anwendung der Mittelwertbildung (Averaging-Technik) dar.

Die Versuchsperson oder das Versuchstier wird einem, für das zu untersuchende Sinnessystem adäquaten, gleichbleibenden Reiz wiederholt ausgesetzt. Aus der fortlaufenden EEG-Registrierung wird ein Zeitabschnitt von gleichbleibender

Länge, der in einem fixen zeitlichen Verhältnis zum Reiz steht, über einen Analog-Digital-Wandler einem elektronischen Mittelwertsbildner zugeführt. Diese reizkorrelierten EEG-Abschnitte werden im Analog-Digital-Wandler in ihrer zeitlichen Abfolge in eine Anzahl von äquidistanten Punkten unterteilt und die jeweiligen Spannungswerte der Punkte in Zahlenwerte umgewandelt.

Im Mittelwertsbildner werden diese, bei jedem Reiz entstehenden Zahlenwerte für alle n Wiederholungen des Reizes für jeden Punkt getrennt aufaddiert. Nach n Additionen werden die resultierenden Summenwerte der einzelnen Punkte oder Adressen wieder analog als Kurvenzug angezeigt.

Bei Anwendung der Averaging Technik geht man von der Voraussetzung aus, daß die Anteile in den registrierten Zeitabschnitten, die unabhängig von der Reizung als Spontanaktivität auftreten, unregelmäßig verteilt sind, und daß im Gegensatz alle infolge der Reizung auftretenden Spannungsänderungen bei wiederholter Reizung in gleicher zeitlicher Beziehung zum Reiz erscheinen. Unter dieser Voraussetzung wächst der durch Erregung im spezifischen Sinnessystem bedingte Anteil am Gesamtwert pro Adresse proportional zur Zahl n der Reizwiederholungen. Der zufallsverteilte unspezifische Anteil nimmt hingegen nur mit $\sqrt{n}$ zu, sodaß eine Verbesserung des Signal-Stör-Verhältnisses um den Faktor $\sqrt{n}$ resultiert. Theoretisch ist somit eine beliebige Verbesserung des Signal-Stör-Verhältnisses möglich, in praxi sind die genannten Voraussetzungen jedoch nie vollkommen erfüllt (SPRENG 1975).

Die Averaging Technik unter Einsatz von elektronischen Rechnern wurde in den 50er Jahren von der MIT Communications Biophysics Group entwickelt und ermöglichte die Ableitung akustisch evozierter Rindenpotentiale des Menschen nach Stimulation mit Clickreizen (GEISLER 1957).

In der Folgezeit waren die akustisch evozierten Rindenpotentiale Gegenstand intensiver Forschung. In den 60er

Jahren gelang KEIDEL und SPRENG (1965) der Nachweis, daß die Größe der evozierten Rindenpotentiale beim Menschen analog psychophysischen Resultaten von STEVENS (1957) als Potenzfunktion der Reizstärke beschrieben werden kann, und ermöglichten somit erstmals den Vergleich einer psycho-akustischen Bewertung mit objektiv erhebbaren Meßwerten. Dieses Verfahren gab der Klinik mit der objektiven Audiometrie erstmals die Möglichkeit, Hörschwellen und Kennlinien des Gehörs unabhängig von subjektiven Angaben des Patienten zu bestimmen.

1967 gelang YOSHIE et al. (1967) die Darstellung der elektrischen Aktivität des Hörnerven mittels einer durch das Trommelfell gestossenen Nadelelektrode, die in der Nähe des Promontoriums plaziert wurde. Zur gleichen Zeit wurden von mehreren Gruppen Ableitungen dieser Aktionspotentiale von anderen Stellen des Kopfes aus durchgeführt, z.B. von KEIDEL und SPRENG (1967). Wegen des größeren Abstands der Registrierelektrode vom Entstehungsort der Erregung wurde diese Art der Registrierung als "farfield"-Technik bezeichnet.

Bei Ableitung der Potentialdifferenz zwischen Vertex und Mastoid beschrieben SOHMER und FEINMESSER (1967) eine regelmäßig wiederkehrende Gruppe von 5 vertexpositiven Spitzen im Zeitbereich von 1,5 bis 7,0 ms nach Clickstimulation, die als repetitive Entladungen des Hörnerven oder als Entladungen von Kernen der Hörbahn im Stammhirn zu interpretieren seien.

Untersuchungen von JEWETT (1970) an der Katze und von JEWETT und WILLISTON (1971) am Menschen brachten dann den Nachweis, daß es sich bei diesen Potentialen um Abbildungen reizkorrelierter Veränderungen in Strukturen der Hörbahn im Hirnstamm handelt, und daß diese Veränderungen nicht durch Muskelpotentiale, Mikrofonpotentiale der Cochlea oder elektrische Artefakte hervorgerufen wurden.

Seither haben mehrere Arbeitsgruppen diese im folgenden in ihrer Gesamtheit als akustisch evoziertes Hirnstammpotential

oder BAEP (Brainstem auditory evoked potential) bezeichneten Potentiale an Menschen und Tieren untersucht.

Meist wird eine Folge von 5 - 7 vertexpositiven, z.T. auch vertexnegativen Wellen im Zeitraum bis 13 ms nach dem Reiz beschrieben und in verschiedener Art benannt, wie in Tab. 1 aufgeführt.

Ähnliche Potentiale sind nach Clickreiz bei verschiedenen Labortieren abzuleiten, die mit Einschränkungen vergleichbar sind den Ergebnissen am Menschen. Eine Übersicht geben ALLEN und STARR (1978) für Katze, Affe und Ratte. Somit kann man aus gleichzeitigen intra- und extracraniellen Messungen im Tierexperiment Rückschlüsse ziehen auf die intracraniellen Korrelate der beim Menschen registrierten Oberflächenpotentiale.

Bei otologisch und neurologisch gesunden Versuchspersonen sind eine Reihe von Faktoren bekannt, die einen systematischen Einfluß auf die evozierten Hirnstammpotentiale ausüben. Dazu zählen Eigenschaften der Versuchsperson wie Alter, Geschlecht, Körpertemperatur, Hörvermögen, Reifungszustand des ZNS in den ersten Lebensmonaten. Von großer Bedeutung sind die Eigenschaften des verwendeten Reizes: Intensität, Repetitionsrate, Art des Reizes (Click, Plop usw.), Zeitdauer, Frequenzbereich, monaurale oder binaurale Stimulation. Einige Autoren (STOCKARD 1979) berichten über einen Einfluß der Clickpolarität, von mehreren Gruppen wurde der Einfluß verschiedener Kopfhörertypen untersucht (HUGH u. FINO 1980, WEBER et al. 1981).

Die Abbildungen der Hirnstammpotentiale sind abhängig von der Art und der Lage der Ableitelektroden, vom Frequenzband des ausgewerteten Signals und damit besonders von den Eigenschaften der verwendeten Filter.

Die Vergleichbarkeit der Resultate wird erschwert durch eine ausgeprägte Vielfalt der Methoden in Bezug auf Reizung und Signalverarbeitung innerhalb der verschiedenen Arbeitsgruppen.

Gemessen werden Antworten auf Schallreize kurzer Dauer, die in regelmäßiger oder unregelmäßiger Folge, meist über Kopfhörer, monaural oder binaural dargeboten werden. Als akustischen Reiz verwenden die Mehrzahl der Arbeitsgruppen Clicks, d.h. Rechteckreize von 50 - 200 μ s Dauer, daneben werden jedoch auch tone pips, Plops und Sinushalbwellen als Reiz eingesetzt.

Einige Gruppen verwenden Clicks wechselnder Polarität (PRATT und SCHMER 1976, ZÖLINER et al. 1976, THORNTON 1975), andere nur Clicks einer Phase, meist Sogimpulse (STOCKARD 1979).

Tabelle 1

Vergleichende Darstellung der Nomenklatur des akustisch evozierten Hirnstammpotentials bei verschiedenen Arbeitsgruppen (Zeitbereiche für Nomenklatur Typ C siehe Tab. 4 und 5)

	A	B	C	D	E	F	G
Vertexpositiv	N1	W1	I	I	N1		
Earlobenegativ	N2	W2	II	II	N2		
	N3	W3	III	III	N3		
			IV				
	N4	W4	V	IV	N4	(X)	
			VII				
	N5	W5	VI	V	N5		
Vertexnegativ					P1		
Earlobepositiv					P2		
					P3		
					P4		FFP 7
					P5		

Gruppe A : Pratt und Sohmer 1976, Lev und Sohmer 1972

Gruppe B : Sohmer und Student 1978

Gruppe C : Jewett et al. (1971), Picton (1974), Stockard et al. (1978, 1979), Starr et al. (1975), Kevanishvili et al. (1979)

Gruppe D : Zöllner et al. (1976)

Gruppe E : Thornton (1975)

Gruppe F : Gerull (1977)

Gruppe G : Terkildsen (1974)

GERULL (1974) weist hin auf unterschiedliches akustisches Wandlerverhalten verschiedener Kopfhörertypen, HUGH und FINO (1980) berichten über Veränderungen in Form und Amplitude der BAEP bei Verwendung piezoelektrischer anstelle der gebräuchlichen elektromagnetischen Kopfhörer. THORNTON (1975) verwendet Lautsprecher zu Reizübermittlung.

Als Elektroden finden meist Silber-Silberchlorid und Beckmann-Standard Elektroden Verwendung, vereinzelt auch Nadelelektroden (ARAN 1978, ROSSI 1980).

Der Einfluß wechselnder Positionen der Registrierelektroden war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Meist wird eine aktive Elektrode am Vertex oder an der Stirn plaziert, die zweite Elektrode liegt meist am reizseitigen Ohr läppchen oder Mastoid. Einige Autoren benutzen eine Position im Nacken bei binauraler Stimulation (DOBIE und NORTON 1980). Neben der gebräuchlichen Differenzmessung zwischen den beiden Elektroden werden auch monopolare Registrierungen durchgeführt (CAZALS 1978).

Die von der Kopfhaut abgegriffenen Signale werden in der Größenordnung von 10^5 bis 10^6 verstärkt. Entsprechend der Bandbreite des Vorverstärkers und einer eventuellen zusätzlichen Filterung wird das Frequenzband des Signals eingeeengt. Die Untergrenze des Frequenzbandes variiert dabei von 0.8 - 500 Hz, die Obergrenze von 1 KHz bis 10 KHz. Eine Übersicht gibt Tabelle 2 (nach KEVANISHVILI 1979).

Die Zahl der Reize liegt meist zwischen 1000 und 2000 pro Registrierung, die Spannweite reicht jedoch von unter 300 (SOHMER und FEINMESSER 1974) bis zu 5000 (HUGHES und FINO 1980) und 10000 (CAZALS et al. 1978) pro Registrierung. Berechnet wird meist ein Zeitfenster von 10 ms (STARR 1975, ZÖLLNER 1976, TERKILDSSEN 1975, PRATT und SOHMER 1976), aber auch 13 ms (CHIAPPA et al. 1979) und 16 ms (ELBERLING 1979, CAZALS et al. 1978).

Die Latenzen der Potentiale werden ausgewertet als absolute Latenz, d.h. zeitliche Verzögerung zum Reiz, und als (relative) "Inter Peak Latency"-Werte entsprechend den Differenzen zwischen zwei verschiedenen Potentialen, im folgenden, wie in der Literatur üblich, als relative Latenzwerte bezeichnet.

Die Amplituden werden gemessen entweder als absolute Abweichungen von der Nulllinie, oder meistens als Differenz der vertexpositiven Potentiale zu den darauf folgenden vertexnegativen.

Die Generatorstrukturen des an der Oberfläche registrierten Hirnstammpotentials sind noch nicht völlig aufgeklärt. Mit unmaskierten Breitband-Clicks werden vor allem basale Bereiche der Cochlea erregt (DON, EGGERMONT 1978). Potential I entsteht durch Reizleitung im N. acusticus, Potential II durch Entladungen im Nucleus cochlearis dorsalis oder durch Erregung des intracraniellen Anteils des N. acusticus (MOLLER et al. 1981). Einige Autoren ordnen auch die späteren Potentiale III - VII einzelnen Strukturen der Hörbahn zu (LEV und SOHMER 1972).

Neuere Arbeiten lassen es jedoch wahrscheinlicher erscheinen, daß jeweils mehrere verschiedene Generatorstrukturen zu den späteren Potentialen III - VII beitragen (JEWETT 1970, ACHOR und STARR 1980), worauf im Kapitel 4 näher eingegangen wird.

Tabelle 2

Bei der Ableitung von Hirnstammpotentialen verwendete
Filtereinstellungen bei verschiedenen Arbeitsgruppen
(nach KEVANISHVILI 1979)

Sohmer und Feinmesser	(1967)	500 - 3000 Hz
Jewett and Williston	(1971)	10 - 2500 Hz
Lev und Sohmer	(1972)	250 - 5000 Hz
Terkildsen et al.	(1974)	500 - 4500 Hz
Picton et al.	(1974)	10 - 3000 Hz
Starr und Achor	(1975)	100 - 3000 Hz
Elberling	(1979)	5 - 5000 Hz
Zöllner et al.	(1976)	350 - 4000 Hz
Thornton	(1975)	100 - 3000 Hz

1.3. Ziele der vorliegenden Arbeit

Die Ziele der vorliegenden Arbeit waren:

1. Unter verschiedenen Reiz- und Registrierbedingungen Stammhirnpotentiale von normalhörenden Versuchspersonen zu registrieren.
2. Bei wiederholten Messungen an denselben Versuchspersonen unter weitestmöglicher Konstanzhaltung der Versuchsbedingungen Registrierungen auf ihre Variabilität zu untersuchen, als Ergänzung zu den Untersuchungen anderer Autoren, die wenige Registrierungen an einer großen Zahl von Versuchspersonen durchführten.
3. Zu prüfen, inwieweit eine längerdauernde Beschallung mit Lärm unterschiedlicher Art einen Einfluß auf das unmittelbar nachfolgend evozierte Hirnstammpotential hat.

Material und Methoden

Es wurden Hirnstammpotentiale von 10 gesunden Versuchspersonen mit normalem Audiogramm registriert. 8 der Versuchspersonen waren männlich im Alter von 20 - 30 Jahren, eine männliche Versuchsperson war älter als 45 Jahre, eine Versuchsperson war weiblich und 26 Jahre alt.

Als Meßelektroden wurden an Vertex und an einem Ohrläppchen der Versuchsperson je eine Beckmann-Standardelektrode mittels Kollodium befestigt. Als Erdungselektrode diente eine Flächenelektrode an der Stirn der Versuchsperson. Zur Befestigung der Vertexelektrode mußte ein Stück Kopfhaut in Größe der Elektrode von Haaren befreit werden. Der Elektrodenwiderstand wurde nach Anlegen der Elektroden kontrolliert, die gemessenen Werte lagen meist unter 5 kOhm, die Einzelfällen bis 10 kOhm.

Die Versuchspersonen befanden sich während der Messung in einem schallarmen Raum, bequem in einem Sessel zurückgelehnt. Sie waren aufgefordert, entspannt zu sitzen, aber nicht einzuschlafen. Es wurden keinerlei sedierende Medikamente verabreicht. Das Licht war gelöscht. Die Versuchsdauer betrug jeweils ca. 1 Stunde.

Die Versuche wurden in zwei Versuchsanordnungen A und B durchgeführt, mit geringen Unterschieden in Bezug auf Reizung und Registriertechnik. Die Mehrzahl der Versuche wurde in Versuchsanordnung B durchgeführt.

In Bild 2 sind die Versuchsanordnungen A und B schematisch dargestellt. In Versuchsanordnung A liefert ein netzunabhängiger Impulsgenerator (IG) Impulse in regelmäßiger Folge bis maximal 25/s, die über einen Impulsformer (IF) einem Funktionsgenerator (FG) zugeführt werden. Der so getriggerte Funktionsgenerator erzeugt in der Frequenz des Impulsgenerators 0,1 ms breite Rechteckreize mit einer zeitlichen Verzögerung von 0,5 ms zum Triggerimpuls. Von einem Polaritätswechsler (+/-) wird die Spannungsrichtung nach jedem Click gewechselt,

so daß Rechteckreize positiver Richtung mit ebensolchen negativer Richtung abwechseln. Verwendet wurde eine Reizfrequenz von 6/s. Über den manuell einstellbaren Attenuator 2 (Att 2) gelangen die Rechteckreize zum rechten Kopfhörer der Versuchsperson und erzeugen hier, je nach Einstellung des Attenuators, verschieden laute Clickgeräusche, wobei sich Sog- und Druckimpulse abwechseln.

Das Lärmsignal stammt von Tonband 1 (TB 1, Philips), wird nach Verstärkung (AMP, Grundig) über ein manuell eingestelltes Relais entweder über Attenuator 1 (Att 1) dem linken Ohr der Versuchsperson oder über Attenuator 2 (Att 2) dem rechten Ohr der Versuchsperson zugeleitet. Die Umschaltung von Clickreiz auf Lärmsignal erfolgt manuell. Die von der Kopfhaut des Probanden über Beckmann-Standardelektroden abgegriffenen Spannungsänderungen werden vom Verstärker 1 (Pre Amp 1) im Bandbereich 0,8 Hz - 10 kHz im Verhältnis 1 : 10^3 verstärkt, nach nochmaliger Verstärkung um Faktor 10^2 (Amp) durch einen Filter (Fil) mit Bandpass 90 - 2000 Hz (48 dB/Okt.) geschickt und entweder nach Attenuierung "On line" registriert oder auf Spur 2 des FM-Speicherbandes (TB 2, Telefunken MAS) gespeichert und später "off line" ausgewertet.

Als Trigger wird auf Spur 1 der verstärkte Impuls des Impulsformers (IF) gespeichert, der zur Clickerzeugung dient.

Die Auswertung erfolgt entweder mit einem Laborrechner PDP 12 oder mit einem selbst entwickelten digitalen Mittelwertrechner (DMR).

In Versuchsanordnung B tritt an die Stelle des Impuls-generators die auf einem Tonband (TB 2, Telefunken) gespeicherte Clickfolge mit einer Frequenz von 20/s. Mit dieser Impulsfolge wird eine von SPRENG entwickelte elektronische Polaritätswechsellerschaltung angesteuert,

die in der Frequenz des Ansteuerungssignals eine Folge von Clicks wechselnder Polarität erzeugt.

Parallel dazu erzeugt die Schaltung einen definierten Triggerimpuls, entsprechend der Impulsfolge. Außerdem wird ein Lärmgeräusch verstärkt, das auf der gleichen Spur des Tonbands gespeichert ist. Die Umschaltung von Lärmsignal auf Clickreiz geschieht dabei selbsttätig, so daß ein ganzer Versuch als Folge von 2 mal 4 Clickserien und einer Lärmphase auf einem Tonband niedergelegt werden kann. Lärm und Clicksignal gelangen über einen variablen Attenuator (Att var) zum Kopfhörer TDH 39 und zum linken Ohr der Versuchsperson (Bild 3).

Die Ableitelektroden wurden an Vertex und linkem Ohr läppchen der Versuchsperson angebracht.

Die abgegriffenen Spannungsänderungen wurden parallel von Verstärker 1 (Pre Amp 1) im Frequenzbereich von 0,8 - 250 Hz, von Verstärker 2 (Pre Amp 2) im Bereich 0,8 Hz - 10 kHz um Faktor 10^3 verstärkt. Im Anschluß daran erfolgte eine weitere Verstärkung um Faktor 10^2 (Amp 1, Amp 2).

Aus den Signalen, die den Verstärker 1 durchlaufen hatten, wurde während des Versuches (on line) vom Laborrechner PDP 12 kontinuierlich die spektrale Verteilung berechnet, die Spektren wurden auf Magnetband abgespeichert. Die weitere Auswertung der Signale erfolgte "off line" nach Speicherung mittels eines Bell & Howell Registrierbandes (TB 3). Bei diesem Registriergerät standen sieben Spuren zur Verfügung, die wie folgt besetzt wurden:

Spur 1 : Click- Lärm Folge auf dem Tonband Telefunken (TB 2)

Spur 2 : EEG Signal aus Verstärker 1: 0,8-250 Hz, Att.: -20 dB

Spur 3 : EEG Signal aus Verstärker 2: 0,8-10000 Hz, Att.: -10 dB
Filterung 90-2000 Hz

- Spur 4 : Definierter Trigger
- Spur 5 : EKG der Versuchsperson
- Spur 6 : EEG Signal aus Verstärker 2: 0,8-10000 Hz,
Att.: -20 dB
- Spur 7 : Triggerfolge auf Tonband Telefunken (TB 2)

Die Registrierung erfolgte mit einer Bandgeschwindigkeit von 7,5 inch/s. Die weitere Auswertung wurde "off line" mit dem digitalen Mittelwertrechner (DMR) oder mit dem PDP 12 Laborrechner durchgeführt.

Bei Verwendung des PDP 12 kam im wesentlichen ein von SPRENG entwickeltes schnelles Mittelungsprogramm GUIKAD 2 zur Anwendung, das bis zu einer Frequenz von 10/s Hirnstammopotiale in einem Zeitfenster von 10,1 ms nach dem Triggerreiz berechnet, und ein zweites Programm, das bis zu einer Frequenz von 20/s Signalabschnitte in einer Länge von 13,2 ms auf Magnetplatte speichert, von wo sie einer weiteren Verarbeitung zugeführt werden können. Der DMR mittelt ohne Speichermöglichkeit Hirnstammopotiale in einem Zeitfenster von 19,4 ms für Reizfolgefrequenzen bis 20/s. Außerdem bietet der DMR die Möglichkeit, zu stark gestörte Signalabschnitte von der Mittelung auszuschließen, wobei ein eingebauter Vorspeicher mit einstellbarer Amplitudenschwelle benützt wird.

Die berechneten Kurvenzüge wurden bei Verwendung des PDP 12 über einen angeschlossenen Plotter, bei Verwendung des DMR über einen XY-Schreiber ausgegeben.

Einige typische Registrierungen sind in Bild 3 dargestellt. Die Werte für Latenz und Amplitude wurden manuell ausgemessen und berechnet. Mit Hilfe eines Patientenmodells wurde der Zeitpunkt bestimmt, zu dem der Clickreiz im Kopfhörer erscheint. Dieser Zeitpunkt wurde als Nullpunkt für die Latenzbestimmung angenommen.

Bei der Auswertung der Amplituden wurde der Unterschied zwischen einer vertexpositiven Auslenkung und der darauf folgenden vertexnegativen in mm gemessen und nach den Er-

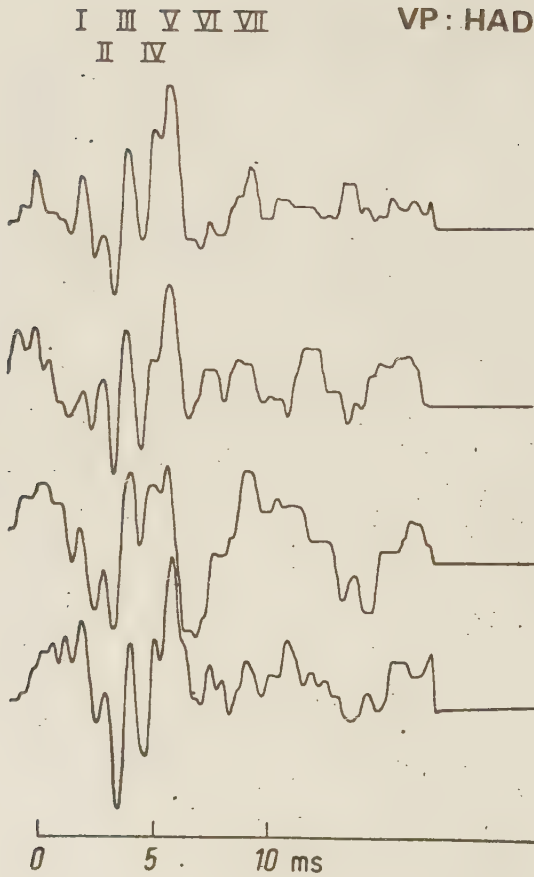


Bild 3

Beispiele für Registrierungen akustisch evozierter Hirnstammpotentiale
Reizintensität 80 dB HL, 20 Clicks/s.

gebnissen der nachfolgend beschriebenen Eichung in nV umgerechnet. Auf gleiche Weise wurden die Latenzwerte errechnet, als Meßpunkt diente der Scheitelpunkt des betreffenden Potentials.

Die Eichung wurde in folgender Anordnung durchgeführt: Über den Kopfhörer, mit dem auch die Versuchsperson beschallt wurde, wird ein Clicksignal an das Mikrofon eines Patientenmodells übermittelt. Das Mikrofonsignal durchläuft analog dem EEG-Signal Verstärker 2, sowie Zusatzverstärker, und wird nach erfolgter Verstärkung am Oszillografen dargestellt. Die Lautstärke des Clickreizes wird so eingestellt, daß die Signalamplitude am Oszillografen exakt 1 Volt beträgt. Dieses Signal wird parallel in einen der beiden Rechner eingegeben und n-mal aufaddiert. Nach n Additionen wird die berechnete Kurve ausgedruckt und die Signalamplitude in mm ausgemessen.

Unter Berücksichtigung der erfolgten Verstärkung läßt sich nun angeben, wie groß eine bestimmte durchschnittliche Spannungsänderung nach n Additionen auf dem Ausdruck dargestellt wird. Diese Werte werden in Beziehung gesetzt zu den in mm gemessenen Amplituden auf den Ausdrucken der Hirnstammpotentiale nach n Registrierungen, und erlauben so eine Berechnung der Potentialamplituden in nV.

Daneben erlaubt diese Anordnung die Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem der Clickreiz an das Ohr der Versuchsperson gelangt und somit eine Bestimmung der akustischen Verzögerung.

Die Ergebnisse der Eichung sind zusammengestellt in Tabelle 3.

Tabelle 3

Ergebnisse der Eichung

	Versuchsanordnung A	Versuchsanordnung B
Spannung am Rechnereingang	1 V	1 V
Gesamtverstärkung (off line)	2.5×10^6	3.1×10^5
Ausdruck	40 mm (3) 80 mm (4) 160 mm (5)	100 mm (3) 200 mm (4) 400 mm (5)
Signalgröße	400 nV	3 300 nV
Sweepzahl	400	1 000

3. Ergebnisse

3.1. Veränderungen der Hirnstammpotentiale bei veränderter Reizintensität in zwei Versuchsanordnungen

3.1.1 Verhalten der absoluten und relativen Latenzwerte

In den Bildern 4 und 5 sind die durchschnittlichen Latenzwerte für alle Potentiale I - VII bei unterschiedlicher Reizintensitäten dargestellt, getrennt nach Messungen in Versuchsanordnung A und B. Die zugehörigen Zahlenwerte sind in den Tabellen 4 und 5 aufgeführt.

Es ist klar erkennbar, daß die Latenzwerte aller Potentiale mit abnehmender Reizintensität zunehmen. Im Vergleich der mit Versuchsanordnung A und B gewonnenen Werte bestehen geringe Unterschiede in den absoluten Latenzen der früheren Potentiale I - V für den Bereich niedriger Intensitäten, bei weitgehender Übereinstimmung im Bereich höherer Intensitäten. Für die späteren Potentiale VI und VII sind die Unterschiede größer im Bereich höherer Intensitäten mit deutlich größeren Latenzen in Versuchsanordnung B.

Im Bereich niedriger Intensitäten ist dieser Unterschied weit geringer ausgeprägt. Auffällig ist außerdem eine gewisse Irregularität im Bereich 30 - 40 dB in der Latenzzunahme der Potentiale IV, VI und VII.

In diesem Bereich kommt es zu sprunghaften Änderungen der durchschnittlichen Latenzwerte.

Als Maß für die Streuung der Meßwerte wurden die Variationskoeffizienten errechnet (WOLF 1975). Dieser Wert ergibt sich aus der Formel $v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ (v = Variationskoeffizient, s = Standardabweichung, $\bar{x}$ = Mittelwert) und ermöglicht einen Vergleich der Varianz bei unterschiedlichen Beträgen der Mittelwerte.

Für Versuchsanordnung B betragen die Werte nach Tabelle 6 zwischen 1.6 und 4.4, im Mittel ca. 2.5. Eine deutliche Sonderstellung nimmt Potential V ein mit einem durchschnittlichen Variationskoeffizienten von 1.5 als Ausdruck einer geringeren Streuung der Meßwerte.

Die Variationskoeffizienten für Versuchsanordnung A sind demgegenüber um etwa Faktor 2 größer, auch hier zeigt Potential V eine wesentlich geringere Variabilität als die übrigen Potentiale.

Bei der Wertung dieser Unterschiede ist zu berücksichtigen, daß die Kurven in Versuchsanordnung A mit einer Reizzahl $n = 400$ gewonnen wurden, in Versuchsanordnung B dagegen mit $n = 1000$.

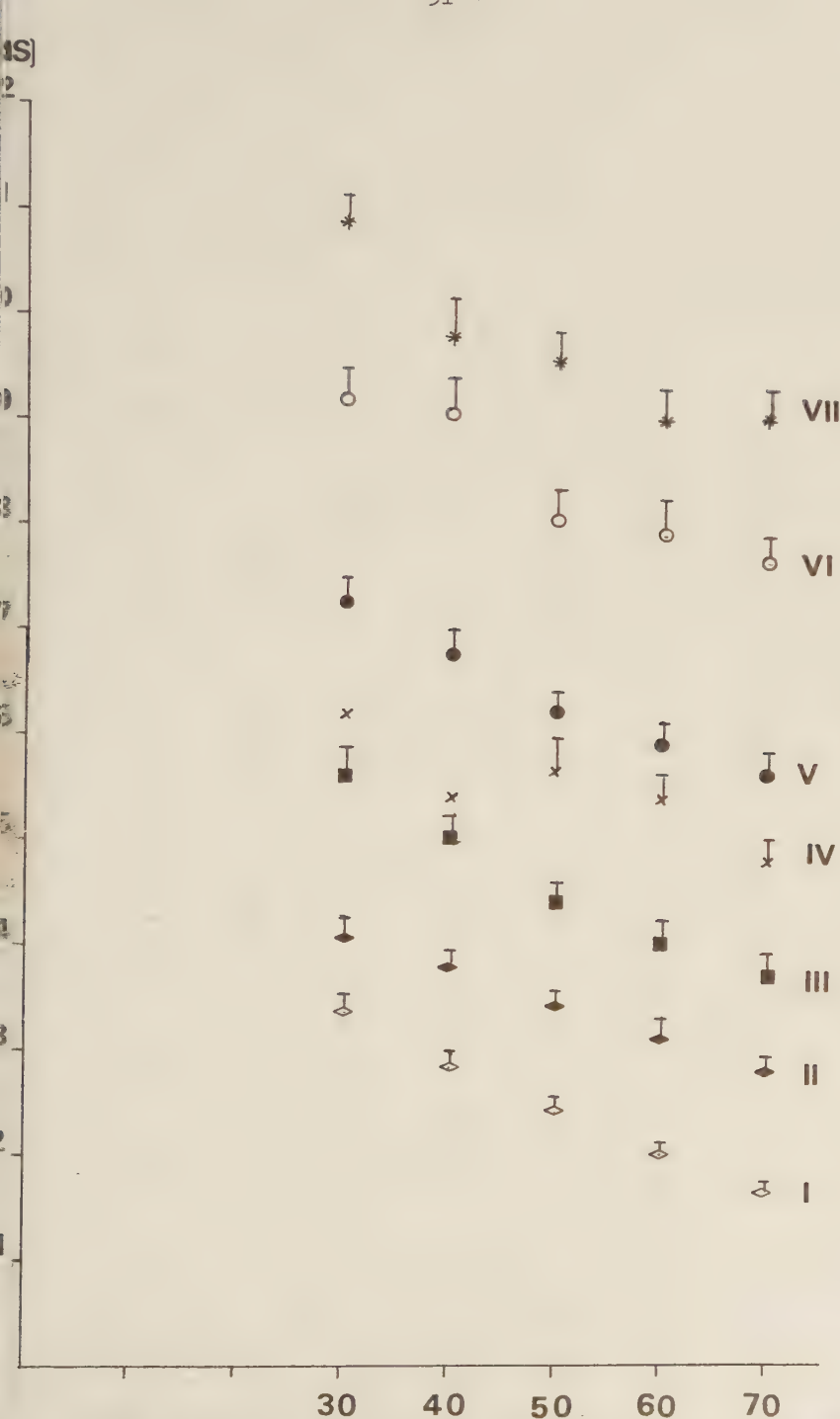


Bild 4 Absolutwerte der Latenzen für die clickevozierten Hirnstamm-
 potentiale I-VII bei Reizintensitäten von 30-70 dB HL,
 gemessen in Versuchsanordnung A

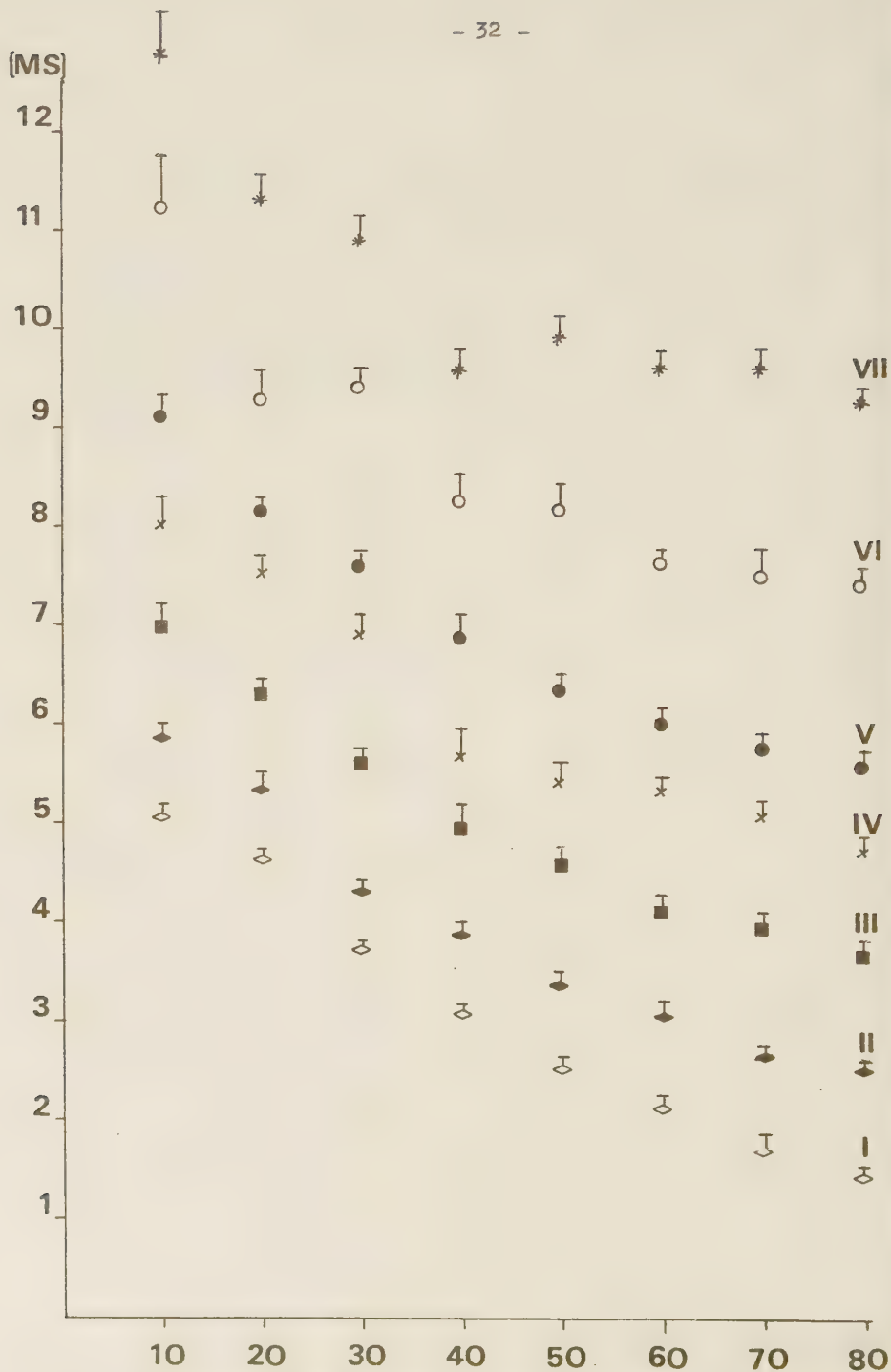


Bild 5 Absolutwerte der Latenzen für die clickevozierten Hirnstamm-
potentiale I-VII bei Reizintensitäten von 10-80 dB HL,
gemessen in Versuchsanordnung B.

Tabelle 4

Mittelwerte Latenzen

Versuchsordnung A

Absolute Latenzen in ms
(Reizintensität)

Potential	70	60	50	40	30
I	1,67	2,00	2,4	2,82	3,34
s	0,22	0,28	0,28	0,33	0,30
s'	0,10	0,12	0,11	0,11	0,13
II	2,76	3,1	3,4	3,78	4,02
s	0,24	0,43	0,29	0,24	0,44
s'	0,11	0,17	0,12	0,10	0,20
III	3,70	4,00	4,4	5,0	5,53
s	0,36	0,37	0,31	0,42	0,64
s'	0,15	0,15	0,13	0,17	0,26
IV	4,78	5,4	5,65	5,4	6,2
s	0,43	0,39	0,63		
s'	0,20	0,20	0,31		
V	5,63	5,9	6,23	6,75	7,25
s	0,40	0,34	0,38	0,54	0,56
s'	0,16	0,14	0,15	0,22	0,23
VI	7,64	7,85	8,04	8,02	8,22
s	0,55	0,63	0,74	0,65	0,57
s'	0,25	0,31	0,33	0,30	0,26
VII	9,0	9,0	9,52	9,77	10,9
s	0,68	0,70	0,8	0,65	0,55
s'	0,28	0,30	0,32	0,38	0,25

Tabelle 5

Mittelwerte Latenzen

Versuchsanordnung B

Absolute Latenzen in ms
(Reizintensität)

Potential	80	70	60	50	40	30	20	10	(dB)
I	1,47	1,70	2,13	2,50	3,07	3,70	4,64	5,06	
s	0,10	0,10	0,22	0,10	0,28	0,33	0,38	0,17	
s'	0,04	0,04	0,08	0,04	0,10	0,13	0,16	0,10	
II	2,50	2,65	3,05	3,37	3,83	4,28	5,34	5,87	
s	0,18	0,15	0,34	0,19	0,26	0,28	0,44	0,30	
s'	0,06	0,05	0,12	0,08	0,10	0,11	0,17	0,14	
III	3,63	3,90	4,10	4,52	4,91	5,57	6,26	6,94	
s	0,18	0,19	0,20	0,29	0,35	0,25	0,33	0,32	
s'	0,06	0,07	0,08	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16	
IV	4,69	5,06	5,29	5,42	5,65	6,91	7,51	8,02	
s	0,28	0,22	0,17	0,28	0,54	0,37	0,36	0,43	
s'	0,10	0,11	0,07	0,13	0,27	0,15	0,15	0,19	
V	5,53	5,74	5,97	6,31	6,82	7,61	8,13	9,07	
s	0,27	0,22	0,25	0,31	0,41	0,16	0,20	0,52	
s'	0,10	0,08	0,09	0,11	0,15	0,07	0,07	0,21	
VI	7,33	7,48	7,56	8,16	8,24	9,38	9,25	11,23	
s	0,29	0,61	0,30	0,58	0,57	0,39	0,54	1,1	
s'	0,11	0,22	0,12	0,20	0,23	0,14	0,22	0,49	
VII	9,21	9,56	9,60	9,84	9,56	10,92	11,34	13,1	
s	0,40	0,58	0,52	0,44	0,68	0,61	1,03	1,16	
s'	0,13	0,21	0,20	0,17	0,26	0,25	0,36	0,58	

Tabelle 6

Variationskoeffizienten für die Latenzwerte der Potentiale I - VII

1. gemessen in Versuchsanordnung B

Potential	I	II	III	IV	V	VI	VII
80 dB	2,7	2,4	1,7	2,1	1,8	1,5	1,4
70 dB	2,35	1,9	1,8	2,2	1,4	2,9	2,2
60 dB	3,8	3,9	2,0	1,3	1,5	1,6	2,1
50 dB	1,6	2,4	2,2	2,4	1,7	2,5	1,7
40 dB	3,3	2,6	2,6	4,8	2,2	2,8	2,7
30 dB	3,5	2,6	1,8	2,2	1,0	1,5	2,3
20 dB	3,4	3,2	2,0	2,0	1,0	2,4	3,2
10 dB	3,4	2,2	2,3	2,4	2,3	4,4	4,4

Mittel	3,0	2,7	2,0	2,4	1,6	2,5	2,5
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2. gemessen in Versuchsanordnung A

Potential	I	II	III	IV	V	VI	VII
70 dB	5,9	3,6	4,1	3,8	2,7	3,7	18,0
60 dB	5,5	5,8	4,3	3,2	2,4	3,4	3,4
50 dB	5,0	3,5	2,7	5,3	5,3	3,9	3,6
40 dB	9,8	3,2	3,4	-	3,3	3,8	2,7
30 dB	3,9	4,8	4,7	-	3,2	3,5	3,4

Mittel	6,0	4,2	3,9	4,1	3,4	3,9	6,0
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

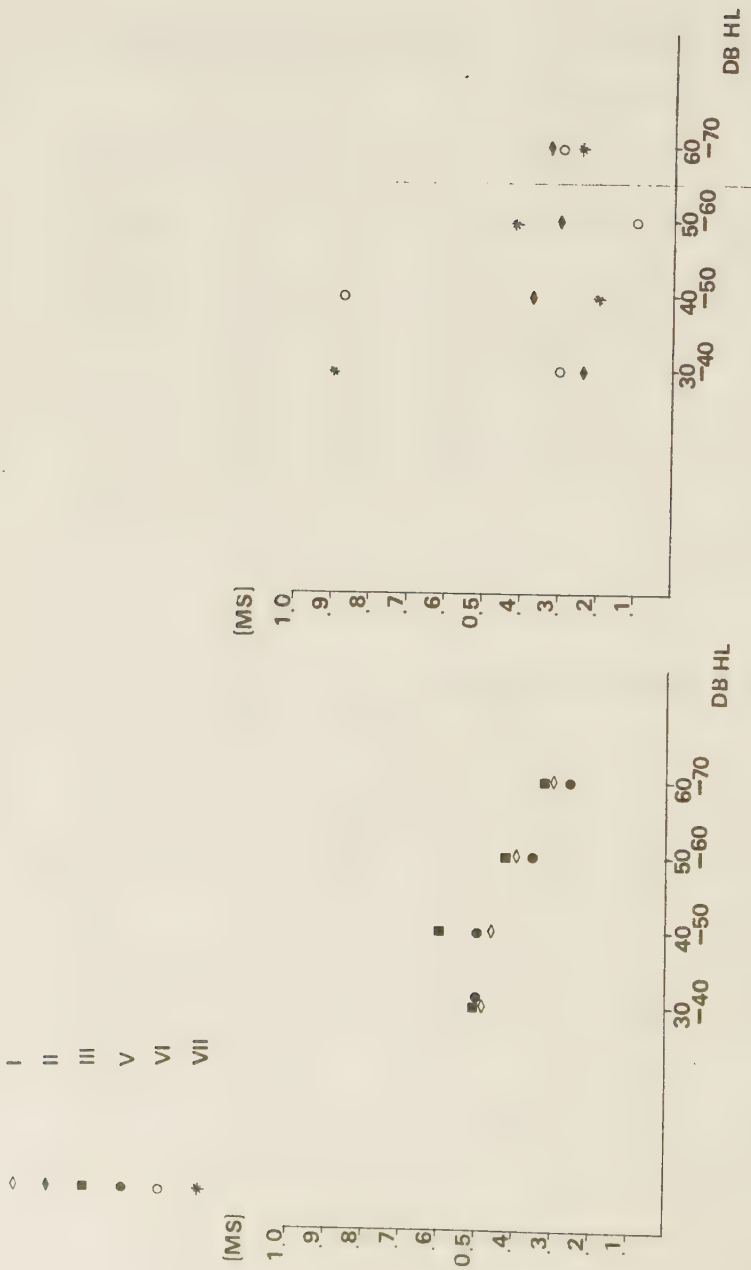


Bild 6 a

Latenzverlängerung Δt zwischen je zwei um 10 dB verschiedenen Intensitäten des Clickreizes für die Potentiale I, III, V (links) und II, VI, VII (rechts), gemessen in Versuchsanordnung A.



Bild 6 b

Latenzverlängerung Δt zwischen je zwei um 10 dB verschiedenen Intensitäten des Clickreizes für die Potentiale I, III, V (links) und II, VI, VII (rechts). Gemessen in Versuchsanordnung B

Bei erniedrigter Reizintensität verlängern sich die Latenzzeiten für alle Potentiale. Die Latenzverlängerung Δt zwischen je zwei um 10 dB verschiedenen Intensitätsstufen ist jedoch nicht für alle Potentiale gleich und abhängig vom Intensitätsbereich.

Eine Übersicht gibt Bild 6, die dazugehörigen Zahlenwerte sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Für die Potentiale I, III, V findet man im Bereich von 30 - 80 dB HL einen weitgehend linearen Anstieg der Latenzverlängerung Δt , der sich im Falle des Potentials V bis in die Nähe der persönlichen Schwelle der Versuchsperson verfolgen läßt.

Dieser Anstieg der Latenzverlängerung Δt verläuft hingegen beim Potential II wesentlich flacher. Für die Potentiale IV, VI und VII sind die Δt Werte der Latenzverlängerung im Bereich höherer Intensitäten relativ gleichbleibend, steigen aber stark an im Bereich niedriger Intensitäten. Eine Ausnahme bildet ein sehr kleiner Δt Wert der Latenzverlängerung für Potential VI und VII auf der Stufe 20 - 30 dB.

Dieses unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Potentiale führt zu intensitätsabhängigen Veränderungen der relativen Latenzen (Inter Peak Latencies = IPL). Auch bei Betrachtung der IPL zwischen den ähnlich reagierenden Potentialen I, III und V macht sich dieser Effekt bemerkbar.

Bild 7 zeigt diese Veränderung der IPL (I - V), IPL (I - III) und IPL (III - V) im Bereich 20 - 80 dB HL, die zugehörigen Zahlenwerte sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Bei etwa gleichen Werten für 80 dB und 70 dB werden die relativen Latenzwerte bei abnehmender Reizintensität für IPL (I - V) und IPL (I - III) zunehmend kleiner, die IPL (III - V) bleibt hingegen relativ konstant.

Tabelle 7

Zahlenwerte der Laterallatenz in Sekunden für zwei um 10 dB verschiedenen Intensitätsstufen

Versuchsanordnung B

Potential	I	II	III	IV	V	VI	VII
80-70	0,23	0,15	0,27	0,37	0,21	0,15	0,35
70-60	0,38	0,40	0,20	0,23	0,23	0,10	0,10
60-50	0,37	0,32	0,42	0,13	0,34	0,60	0,14
50-40	0,57	0,46	0,39	0,23	0,51	0,14	-
40-30	0,63	0,45	0,66	1,26	0,79	1,14	-
30-20	0,94	1,06	0,69	0,60	0,52	0,1	0,3
20-10	0,42	0,53	0,68	0,51	0,94	1,98	1,76

Versuchsanordnung A

Potential	I	II	III	IV	V	VI	VII
70-60	0,30	0,33	0,3	0,60	0,26	0,31	0,25
60-50	0,40	0,30	0,43	0,26	0,36	0,10	0,42
50-40	0,47	0,38	0,60	(0,27)	0,50	0,87	0,20
40-30	0,49	0,24	0,50	0,78	0,50	0,30	0,90

Bild 7 Relative Interpeak-Latenzen bei verschiedenen Reizintensitäten.
Vergleich der Ergebnisse von Stockard et al.(1979) mit dieser Arbeit

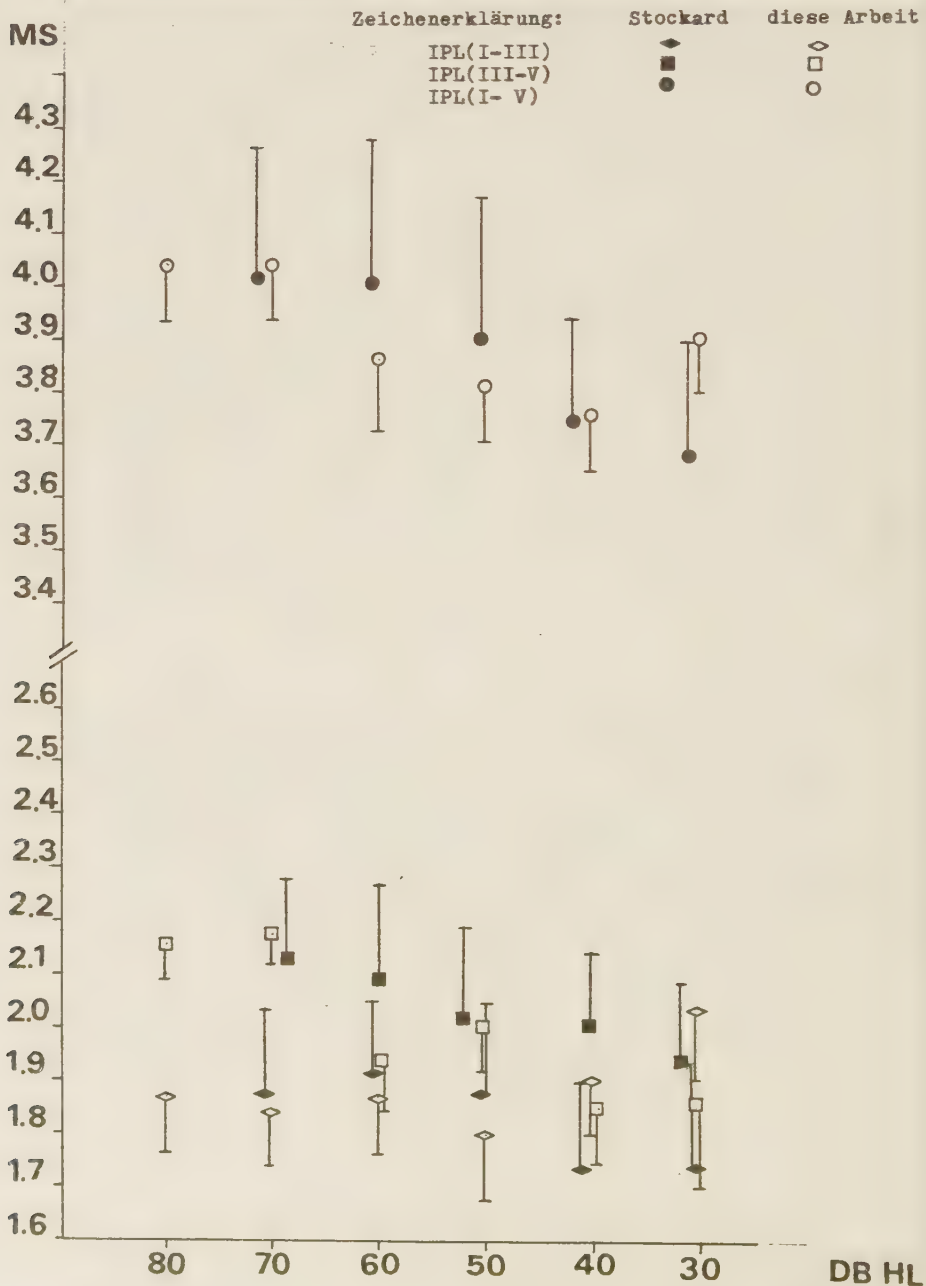


Tabelle 8

Mittelwerte relative Latenzen (Inter Peak Latencies)

Versuchsanordnung A

	80	70	60	50	40	30	20	10
IPL (I-V)		4,00	3,92	3,83	3,98	3,94		
s'		0,08	0,08	0,06	0,22	0,16		
IPL (I-III)		2,03	2,00	2,02	2,18	2,20		
s'		0,07	0,08	0,05	0,15	0,20		
IPL (III-V)		1,93	1,92	1,82	1,7	1,72		
s'		0,13	0,04	0,07	0,07	0,09		

Versuchsanordnung B

	80	70	60	50	40	30	20	10
IPL (I-V)	4,04	4,04	3,85	3,81	3,75	3,91	3,47	3,89
s'	0,10	0,09	0,14	0,10	0,10	0,10	0,14	0,20
IPL (I-III)	2,17	2,19	1,95	2,03	1,84	1,87	1,63	2,03
s'	0,05	0,04	0,08	0,11	0,15	0,15	0,11	0,11
IPL (III-V)	1,87	1,85	1,87	1,80	1,91	2,04	1,88	1,98
s'	0,08	0,09	0,10	0,12	0,10	0,13	0,12	0,13

3.1.2 Verhalten der Amplituden

Die Amplituden aller Potentiale zeigen im Vergleich mit den Latenzen eine deutlich stärker ausgeprägte Variabilität. Die durchschnittlichen Werte der Variationskoeffizienten liegen zwischen 20 - 30, und wie bei den Latenzen zeigt das Potential V die geringste Variabilität (Tabelle 11). Beim Vergleich der Variationskoeffizienten in Versuchsanordnung A und B ergibt sich für mittlere und hohe Intensitäten eine ähnliche Variabilität bei Potential I und V. Bei den Potentialen II, III und VII sind die Werte in B höher, bei Potential VI dagegen niedriger als in Versuchsanordnung A.

In Bild 8 sind die Amplitudenwerte der Potentiale I, III und V, in Bild 9 der Potentiale II, VI und VII graphisch dargestellt, jeweils für die beiden Versuchsanordnungen A und B. die zugehörigen Zahlenwerte sind in den Tabellen 9 und 10 enthalten.

Allen Potentialen gemeinsam ist die Tendenz zu kleineren Amplituden bei abnehmender Reizintensität. Folgende Veränderungen ergeben sich bei den Registrierungen in Versuchsanordnung B: Eine Auftragung der Amplitudenwerte für Potential I ergibt einen zu Beginn flachen Anstieg bis 40 dB und einen steilen Verlauf bis 80 dB. Die Werte des Potentials V steigen hingegen steil an bis 40 dB und gehen bis 80 dB in einen flachen Verlauf über. Potential III geht nach steilem Anstieg bis 30 dB in einen flacheren Anstieg über, um ab 60 dB erneut steil anzusteigen. Während die Veränderungen mit steigender Intensität für die Potentiale I und III in Versuchsanordnung A in gleicher Weise erfolgen, setzt eine überproportionale Amplitudenerhöhung für Potential V erst bei 50 dB ein gegenüber 40 dB in Versuchsanordnung B.

Die Amplituden von Potential II nehmen nach steilen Anstieg im Bereich niedriger Intensitäten einen flachen Verlauf im Bereich mittlerer, um dann bei Intensitäten über 50 dB er-

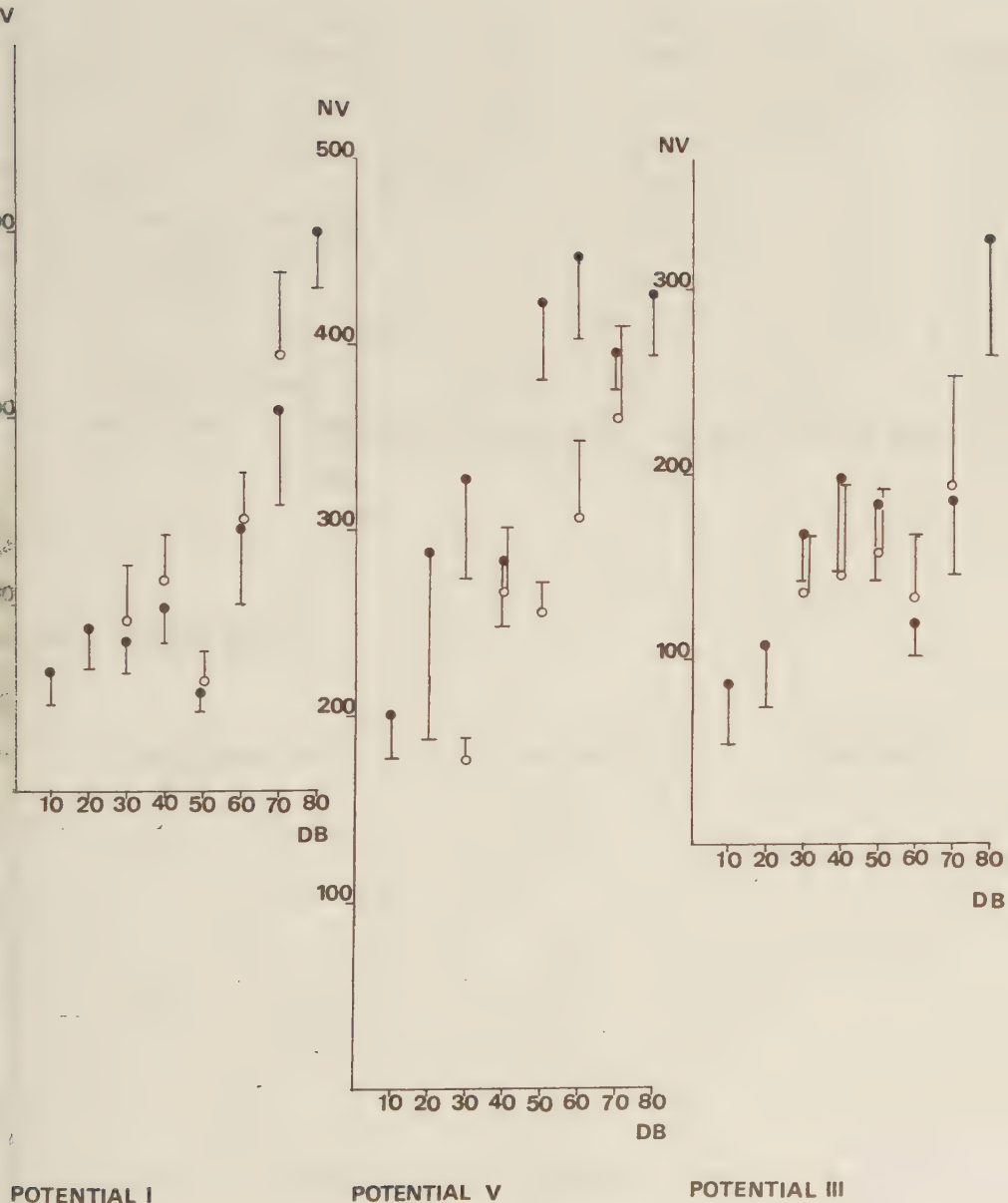


Bild 8

Absolute Amplituden in nV der Hirnstammpotentiale I, III und V nach Clickreiz bei Reizintensitäten von 10-80 dB HL, gemessen in Versuchsanordnung A (○) und B (●).

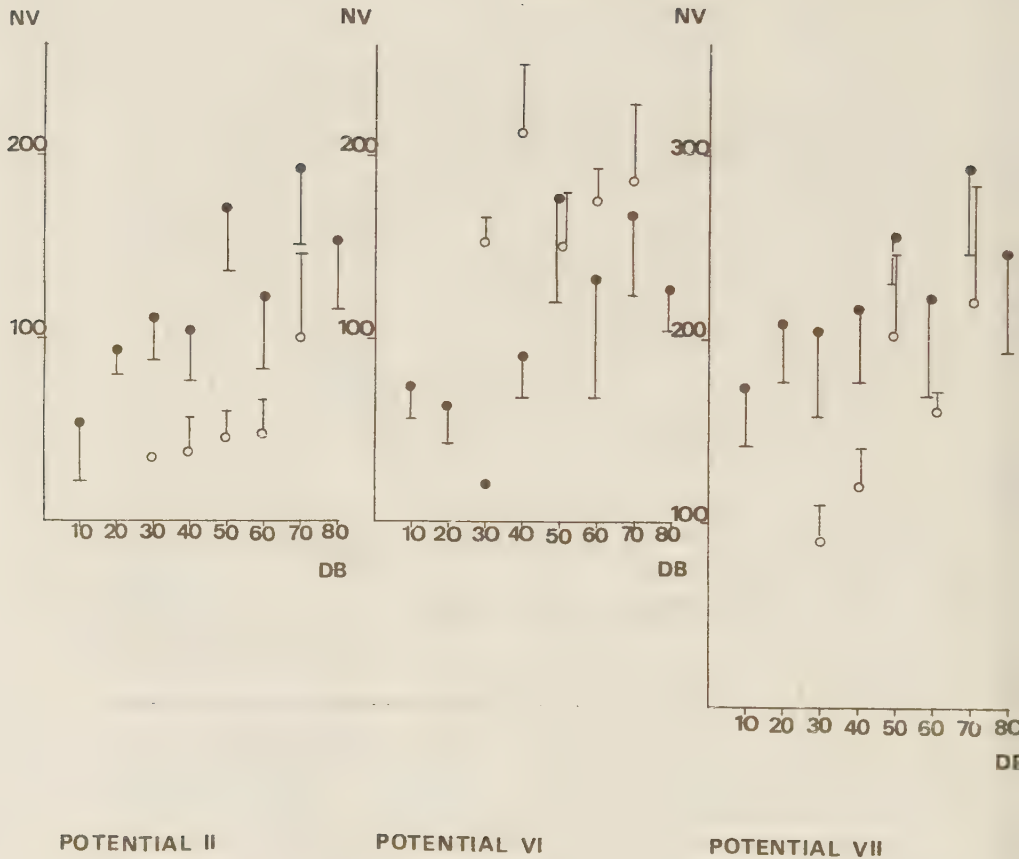


Bild 9

Absolute Amplituden in nV der Hirnstammpotentiale II, VI und VII nach Clickreiz bei Reizintensitäten von 10-80 dB HL, gemessen in Versuchsanordnung A (O) und B (●).

neut stark anzusteigen. Für Potential VI ist ein Sprung bei 40 - 40 dB erkennbar. Die Amplitudenwerte des Potential VII steigen stetig an mit zunehmender Intensität. Auffällige Veränderungen treten auf im Verhalten der Potentiale II, VI und VII in Versuchsanordnung A gegenüber B. Die Werte für Potential II bleiben bis 60 dB ohne deutliche Zunahme im niedrigen Bereich, ein starkes Ansteigen erfolgt erst bei 70 dB. Potential VI hat im Bereich mittlerer und höherer Intensitäten wesentlich höhere durchschnittliche Amplitudenwerte in Versuchsanordnung A und zeigt keine Zunahme bei höheren Intensitäten. Die Amplitudenwerte für Potential VII steigen stetig an bei zunehmender Intensität, dieser Anstieg verläuft jedoch wesentlich steiler als in Versuchsanordnung B.

Tabelle 9

Mittelwerte Amplituden

Versuchsanordnung A

Amplituden in nV

(Reizintensität)

Potential	70 dB	60 dB	50 dB	40 dB	30 dB
I	235	143	59	113	92
s'	45	24	16	23	30
II	100	49	43	38	35
s'	48	14	7	18	-
III	194	133	159	145	135
s'	60	34	34	53	35
IV	30	30	33		
s'	6				
V	361	307	254	267	176
s'	50	41	19	67	13
VI	187	176	150	212	152
s'	41	18	29	37	13
VII	220	161	203	120	90
s'	64	20	46	20	20

Tabelle 10

Mittelwerte Amplituden

Versuchsanordnung B

Amplituden in nV

(Reizintensität)

Potential	80 dB	70 dB	60 dB	50 dB	40 dB	30 dB	20 dB	10 dB
I	300	206	140	55	97	80	86	64
s'	31	49	40	10	18	15	21	16
II	153	192	122	172	104	111	93	58
s'	37	40	40	37	26	21	12	33
III	328	186	120	184	198	169	109	86
s'	60	40	17	41	51	25	29	32
IV	59	33		20	99	91		
s'	24			4				
V	428	307	448	432	283	327	288	199
s'	32	23	43	40	34	55	101	44
VI	124	169	132	177	89	20	62	74
s'	20	42	64	56	22		20	14
VII	247	232	221	256	218	204	209	172
s'	52	41	52	23	40	45	31	30

Tabelle 11

Variationskoeffizienten der Amplitudenwerte

1. gemessen in Versuchsanordnung B

	I	II	III	IV	V	VI	VII
80 dB	10	24	18	41	7,5	16	21
70 dB	24	21	22	-	6	25	14
60 dB	29	33	14	-	9,6	48	24
50 dB	25	22	22	-	9,3	32	10
40 dB	18	25	26	-	12	25	18
30 dB	19	19	15	-	17	-	22
20 dB	19	13	27	-	35	33	10
10 dB	24	57	37	-	22	20	15
Mittelwert	21	26,8	22,6		14,8	28,4	16,8

2. gemessen in Versuchsanordnung A

	I	II	III	IV	V	VI	VII
70 dB	19	48	32	20	14	22	29
60 dB	17	29	26	-	13	10	5
50 dB	27	16	21	-	7,5	19	23
40 dB	20	47	37	-	25	18	8
30 dB	33	-	26	-	10	10	22
Mittelwert	23,2	35	28,4	-	14	16	17

3.2. Variabilität innerhalb einer größeren Gruppe von Registrierungen unter konstanten Bedingungen

Im Rahmen einer Lärmstudie wurden von jeder Versuchsperson vor der jeweiligen Lärmphase die Reizantworten auf viermal 1025 Clickreize gemessen. Vorausgesetzt, daß die Position innerhalb der Clickreihe 1 - 4 keinen Einfluß auf die Meßgrößen hat, liegen somit von jeder der acht Versuchspersonen maximal 20 Messungen vor, bei denen die Ableitebedingungen soweit wie möglich konstant gehalten wurden.

3.2.1 Variabilität der Latenzen

Bild 10 zeigt die Verteilung der Latenzen für die Potentiale I, III und V, angegeben in Klassen zu 0,05 ms entsprechend der größten Ablesegenauigkeit. Die unterschiedliche Besetzung der Klassen gibt einen Eindruck von der Variabilität innerhalb der Stichprobe. Ein Vergleich der Darstellungen für die Potentiale I, III und V zeigt starke Besetzung weniger Klassen für Potential I, für Potential III und V eine schwächere Besetzung einer größeren Anzahl von Klassen als Ausdruck einer größeren absoluten Variabilität der Latenzwerte für spätere Potentiale gegenüber früheren. Wenn man jede Versuchsperson gesondert betrachtet (Bild 11), findet man, daß die intraindividuelle Variabilität der späteren Potentiale korreliert mit der Variabilität der frühen Potentiale. Für jedes Potential hat jede Versuchsperson einen z.T. individuell verschiedenen, z.T. bei einigen Versuchspersonen übereinstimmenden Wert. Zwei Versuchspersonen können für alle Potentiale ähnliche Werte zeigen (ECK-FRE), sie können in einem Potential übereinstimmen, in anderen nicht (AUR-ECK) oder können völlig verschiedene Werte zeigen (KOT-LEH). So entstehen interindividuelle Unterschiede der IPL, die in Bild 12 dargestellt werden. Besonders deutlich werden die interindividuellen Unterschiede an den beiden Extremen MSP und LEH. Bei etwa gleicher Verteilung für Potential I bereits ausgeprägte

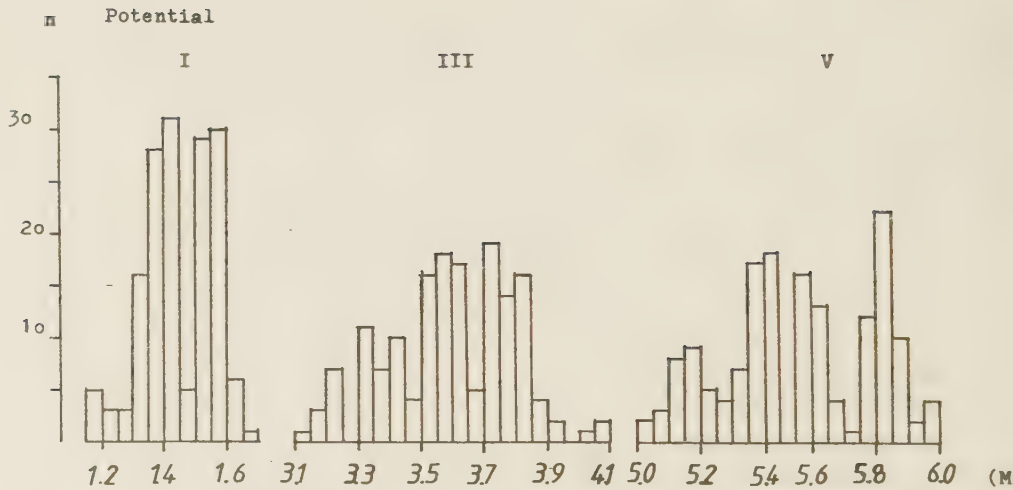


Bild 10

Verteilung der absoluten Latenzwerte in ms nach Clickreizung mit Reizintensität 80 dB HL und Reizfolgefrequenz 20/s für die Potentiale I, III und V (8 Versuchspersonen)

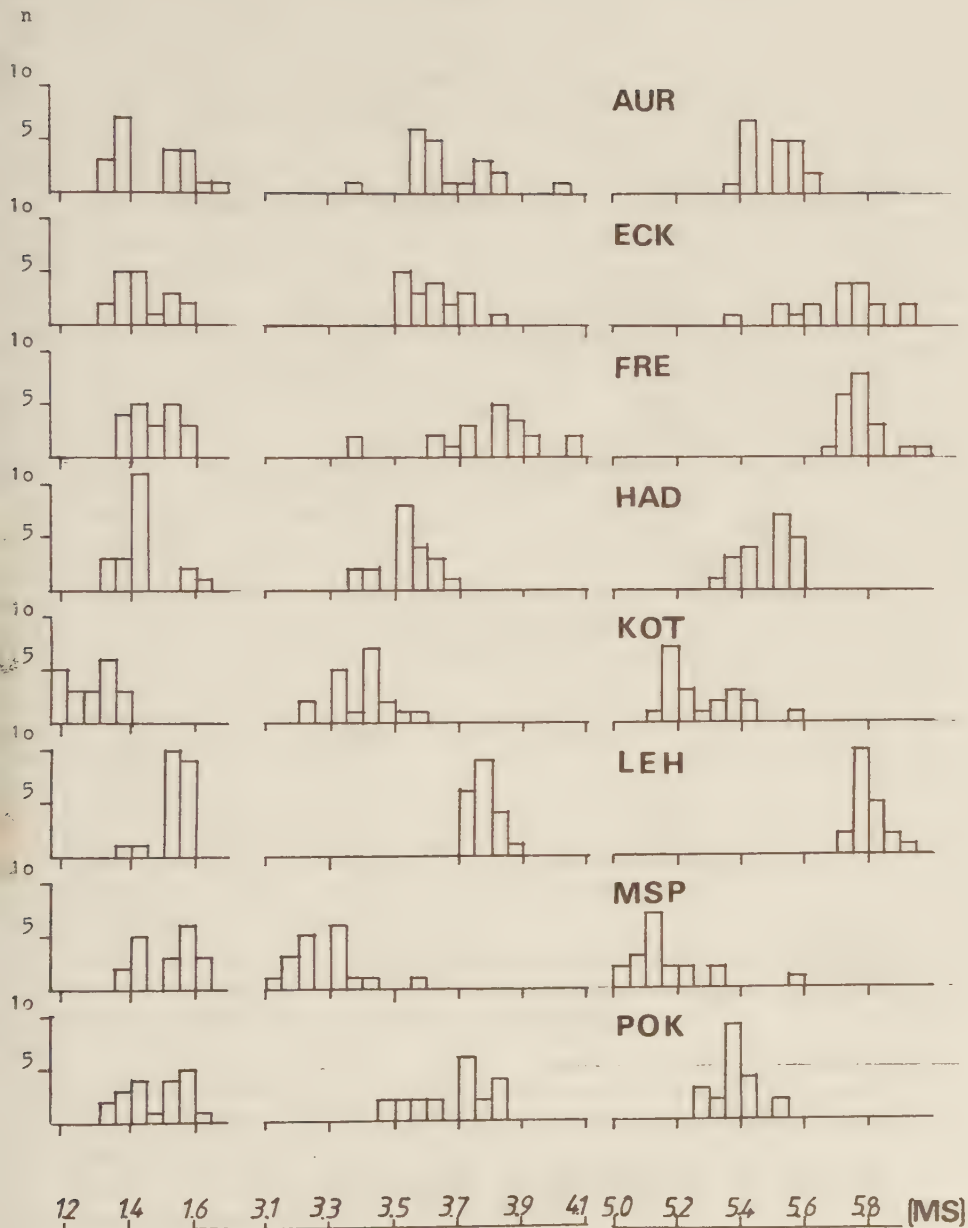


Bild 11

Verteilung der absoluten Latenzwerte in ms nach Clickreizung mit Reizintensität 80 dB HL und Reizfolgefrequenz 20/s, getrennt nach Versuchspersonen

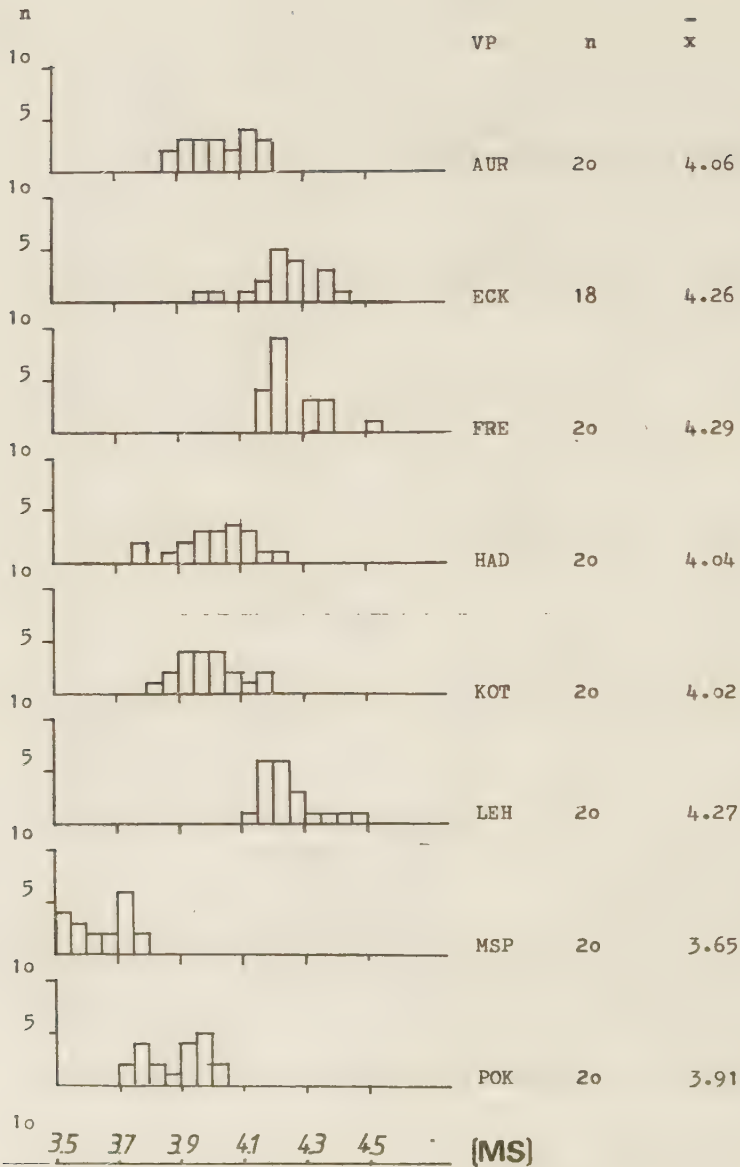


Bild 12

Verteilung der relativen IPL(I-V) Messwerte nach Clickreizung mit Reizintensität 80 dB HL und Reizfolgefrequenz 20/s, getrennt nach Versuchspersonen.

Unterschiede für Potential III und zunehmend für Potential V.

Ein möglicher Zusammenhang mit den absoluten Latenzwerten war abzuklären. Versuchsperson KOT mit der kürzesten absoluten Latenz für Potential I hat mittlere IPL-Latenzwerte, Versuchsperson MSP mit den kürzesten IPL-Latenzwerten eine absolute Latenz des Potentials I wie Versuchsperson LEH mit den längsten IPL-Latenzwerten.

Ein Zusammenhang zwischen absoluten und relativen Latenzen ist somit nicht zu erkennen.

3.2.2 Variabilität der Amplituden

Von den insgesamt 160 Registrierungen waren 5 zu stark gestört und wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt (009,1-4; 001,1). Bei den übrigen Registrierungen wurden die Amplitudenwerte für die Potentiale I - VII bestimmt. Die Potentiale waren in unterschiedlichen Prozentsätzen nachweisbar:

Potential I	98 %
Potential II	94 %
Potential III	96 %
Potential IV	24 %
Potential V	100 %
Potential VI	52 %
Potential VII	95 %

Das Verhalten der drei am regelmäßigsten nachweisbaren Potentiale I, III und V, die das BAEP im wesentlichen bestimmen, waren Gegenstand einer näheren Untersuchung.

Zunächst wurde für jedes Potential getrennt eine zweifache Varianzanalyse in einer "randomized block" Anordnung durchgeführt (ARMITAGE 1973). Die Versuchsperson FRE wurde bei dieser Auswertung wegen zu geringer Anzahl von Meßwerten nicht berücksichtigt.

Tabelle 12 Ergebnis der zweifachen Varianzanalyse nach Armitage(1973)
für die Amplitudenwerte des Potentials I.
Registrierungen 1,2,3,4 ;nicht berücksichtigt ist die
Versuchsperson FRE

LCFOCL-12X,11

EL G. ZEANNÜ.11

LCFOCL-12X,11

EL G. ZEANNÜ.11

MITTELWERTE DER FELDER:

NIC 1)=	53.800	VA=	314.80
NIC 2)=	57.200	VA=	539.80
NIC 3)=	45.300	VA=	386.00
NIC 4)=	47.400	VA=	1959.2
NIC 5)=	44.600	VA=	415.20
NIC 6)=	38.400	VA=	947.20
NIC 7)=	37.800	VA=	258.80
NIC 8)=	39.400	VA=	1533.2
NIC 9)=	38.800	VA=	332.80
NIC 10)=	31.800	VA=	128.80
NIC 11)=	33.600	VA=	657.20
NIC 12)=	32.800	VA=	293.80
NIC 13)=	20.600	VA=	435.20
NIC 14)=	29.800	VA=	70.800
NIC 15)=	28.800	VA=	273.80
NIC 16)=	25.200	VA=	208.00
NIC 17)=	37.800	VA=	372.80
NIC 18)=	43.800	VA=	152.80
NIC 19)=	46.200	VA=	446.80
NIC 20)=	41.400	VA=	431.20
NIC 21)=	33.200	VA=	154.80
NIC 22)=	26.600	VA=	423.20
NIC 23)=	36.600	VA=	97.201
NIC 24)=	38.200	VA=	374.80
NIC 25)=	29.000	VA=	263.80
NIC 26)=	26.800	VA=	362.80
NIC 27)=	21.800	VA=	103.80
NIC 28)=	32.600	VA=	695.20

MITTELWERTE DER SPALTEN:

VA 1.0000=	596.76	MI=	36.400
VA 2.0000=	755.31	MI=	36.229
VA 3.0000=	447.19	MI=	35.686
VA 4.0000=	321.79	MI=	36.571

VARIANZANALYSE:

	SSQ	DF	MS	F	
SUB	8760.19	6.00000	1461.23	18.9845	0.01 %
1:FEAT	15.4658	3.00000	2.57813	0.02291	90 %
INI	1840.09	13.0000	132.227	0.90851	40 %
FES	12622.4	112.000	112.521		

Tabelle 13 Ergebnis der zweifachen Varianzanalyse nach Armitage(1973)
für die Amplitidenwerte des Potentials III.
Registrierungen 1,2,3,4 ;
nicht berücksichtigt sind die Versuchspersonen FRE und MSP

MITTELWERTE DER ZEILEN:

NIC 1)=	31.400	VA=	1253.3
NIC 2)=	27.600	VA=	75.200
NIC 3)=	16.000	VA=	294.30
NIC 4)=	31.000	VA=	910.30
NIC 5)=	39.400	VA=	369.20
NIC 6)=	42.600	VA=	333.20
NIC 7)=	40.800	VA=	150.80
NIC 8)=	56.200	VA=	3678.3
NIC 9)=	39.000	VA=	522.30
NIC 10)=	50.200	VA=	426.80
NIC 11)=	52.000	VA=	164.00
NIC 12)=	52.600	VA=	545.20
NIC 13)=	20.200	VA=	114.30
NIC 14)=	24.000	VA=	444.00
NIC 15)=	14.200	VA=	98.300
NIC 16)=	14.000	VA=	464.00
NIC 17)=	29.400	VA=	549.20
NIC 18)=	37.200	VA=	1414.3
NIC 19)=	31.600	VA=	1167.2
NIC 20)=	32.600	VA=	387.20
NIC 21)=	29.500	VA=	750.30
NIC 22)=	28.400	VA=	631.20
NIC 23)=	30.400	VA=	65.200
NIC 24)=	31.500	VA=	934.80

MITTELWERTE DER SPALTEN:

VA 1.0000=	253.68	MI=	31.600
VA 2.0000=	512.96	MI=	35.000
VA 3.0000=	1044.3	MI=	30.833
VA 4.0000=	1221.0	MI=	36.367

VARIANZANALYSE:

	SSC	DF	MS	F	
SUB	10942.4	5.00000	2188.48	15.3131	0.001 %
TREAT	635.375	3.00000	127.075	0.77643	50.0 %
INT	2221.94	15.0000	148.129	2.90507	40 %
RES	15712.0	96.0000	163.667		

Tabelle 14 Ergebnis der zwifachen Varianzanalyse nach Armitage (1973)
für die Amplitudenwerte des Potentials V.
Registrierungen 1,2,3,4 ;
nicht berücksichtigt ist die Versuchsperson FRE

MITTELWERTE DER FELDEN:

NIC 1)=	62.000	VA=	906.20
NIC 2)=	62.600	VA=	1921.2
NIC 3)=	71.000	VA=	352.00
NIC 4)=	58.600	VA=	1419.2
NIC 5)=	68.500	VA=	834.80
NIC 6)=	73.200	VA=	2324.8
NIC 7)=	62.400	VA=	219.20
NIC 8)=	70.200	VA=	1658.8
NIC 9)=	67.400	VA=	351.20
NIC 10)=	75.600	VA=	377.20
NIC 11)=	66.600	VA=	215.20
NIC 12)=	65.800	VA=	904.80
NIC 13)=	70.800	VA=	578.80
NIC 14)=	78.000	VA=	1714.8
NIC 15)=	77.400	VA=	359.20
NIC 16)=	74.200	VA=	356.80
NIC 17)=	38.800	VA=	824.80
NIC 18)=	39.400	VA=	2653.2
NIC 19)=	29.200	VA=	1170.8
NIC 20)=	39.400	VA=	177.20
NIC 21)=	77.400	VA=	633.20
NIC 22)=	72.400	VA=	855.20
NIC 23)=	75.600	VA=	345.20
NIC 24)=	75.200	VA=	1358.8
NIC 25)=	51.800	VA=	610.80
NIC 26)=	44.800	VA=	334.80
NIC 27)=	48.400	VA=	1741.2
NIC 28)=	45.800	VA=	558.80

MITTELWERTE DER SPALTEN:

VA 1.0000=	1031.0	MI=	62.429
VA 2.0000=	1460.9	MI=	63.714
VA 3.0000=	1783.6	MI=	61.514
VA 4.0000=	1136.2	MI=	61.314

VARIANZANALYSE:

	SSQ	DF	MS	F	
SUB	25645.2	6.00000	4274.17	18.4563	0.001 %
TREAT	125.750	3.00000	20.9583	0.09050	90 %
INT	1663.88	18.0000	92.4375	2.39916	70 %
RES	25937.3	112.000	231.583		

Den verbleibenden 7 Versuchspersonen sind je 4 Felder entsprechend den Kurven 1 - 4 zugeordnet, jedes Feld enthält 5 Meßwerte für Position 1 - 4 an den 5 Versuchstagen. Der Test mißt den Anteil an der gesamten Varianz innerhalb der Stichprobe, der auf Unterschiede zwischen den Versuchspersonen (Zeilen), zwischen den verschiedenen Positionen 1, 2, 3, 4 (Spalten) und auf eine etwaige Interaktion zwischen Spalten- und Zeileneffekten entfällt (Tabellen 12 - 14). Für die Potentiale I, III und V führt der Test zum jeweils eindeutigen, ähnlichen Ergebnis: Die Unterschiede zwischen den Versuchspersonen sind jeweils hochsignifikant ($P < 0.01$), die Unterschiede zwischen den Positionen innerhalb der Reihe 1 - 4 sind nicht signifikant ($P > 50\%$), und es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen Spalten- und Zeileneffekten ($P > 40\%$). Die Variabilität innerhalb der Stichprobe hat ihre Ursache zum weitaus größten Teil in Unterschieden zwischen den einzelnen Versuchspersonen, und es hat keinen Einfluß auf die Größe der Potentiale, an welcher Stelle innerhalb der Reihe der 4 Messungen die Kurve steht, aus der das Potential stammt.

Ausschluß eines Trainingseffekts

Die Versuchspersonen wurden jeweils an 5 verschiedenen Tagen getestet, sie waren an den späteren Versuchstagen mit den Versuchsbedingungen vertrauter, so daß ein etwaiger "Trainingseffekt" mit Auswirkung auf die Amplituden der Hirnstammpotentiale abzuklären war.

Wegen der großen intersubjektiven Unterschiede wurde mit dem Friedmann Test ein von den absoluten Beträgen unabhängiger Rangtest durchgeführt.

Es wird jeder der 5 Messungen pro Versuchsperson ein Rang zugeteilt, und es werden die auf die jeweils 1. - 5. Versuchstage entfallenden Rangsummen verglichen. Ein χ^2 gibt dabei die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Nullhypothese der Verschiedenheit der Rangsummen signifikant ist.

Wegen fehlender Messwerte für 1 - 4 in einer Versuchsanordnung wird Versuchsperson FRE nicht in die Auswertung einbezogen.

Für Potential I ergibt sich ein χ^2 -Wert von 4.19, bei einem n von 28 (7 VP in 4 Positionen) und 4 Freiheitsgraden ist das Ergebnis auf dem 25 % Niveau noch nicht signifikant.

Für Potential III beträgt der χ^2 -Wert 1.39, für Potential V lautet er 1.04.

Beide Werte sind nicht signifikant.

Die zunehmende Erfahrung der Versuchsperson in der Versuchssituation übt also keinen systematischen Einfluß auf die Größe des Potentials aus, ein Trainingseffekt ist nicht gegeben.

Einfluß der Position der Messung innerhalb der Reihe 1 - 4.

Um den geringen Varianzanteil innerhalb der Stichprobe weiter abzuklären, der von Unterschieden zwischen den verschiedenen Positionen 1 - 4 herrührt, wurde auch hier ein Friedman Rangtest durchgeführt.

Jedem der 4 in einer Versuchssitzung registrierten Potentiale wurde eine Rangzahl nach abnehmenden Amplitudenwerten zugeordnet. Es wurde untersucht, ob die über alle Versuche errechneten Rangsummen für die Registrierungen an einer Position sich signifikant unterscheiden von den Rangsummen der anderen Positionen.

Bei 3 Freiheitsgraden ergibt sich für Potential I ein χ^2 -Wert von 0.73, für Potential III ein χ^2 -Wert von 0.83 und für Potential V ein χ^2 -Wert von 0.98.

Diese Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse der Varianzanalyse und zeigen, daß keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Positionen 1 - 4 bestehen, die Stellung innerhalb der Reihe keinen Einfluß auf die Potentialamplituden ausübt.

Unterschiede zwischen den Versuchspersonen

In Bild 13 werden die Mittelwerte für die Potentiale I, III und V getrennt nach Versuchspersonen dargestellt, die zugehörigen Zahlenwerte sind in Tabelle 15 angegeben. Bei ähnlicher Streuung unterscheiden sich die Mittelwerte zum Teil bis zu 100 % für Potential I (AUR-KOT) und Potential III (FRE-HAD). Für Potential V betragen die Differenzen bis zu 65 % (POK-KOT).

Zur genaueren Erfassung der intersubjektiven Unterschiede wurde mit den Messwerten von je 2 Versuchspersonen ein korrelierter T-Test durchgeführt, wobei die Werte nach Versuchsanzordnung 1 - 5 zugeordnet wurden. Auf diese Art wurde jede Versuchsperson mit allen anderen Versuchspersonen verglichen.

Die Ergebnisse dieser Vergleiche sind für die drei ausgewerteten Potentiale I, III und V in Tabelle 16 zusammengefaßt. Die Prozentzahl gibt dabei das Signifikanzniveau an, auf dem eine Verschiedenheit angenommen werden muß. Es zeigt sich, daß zwei Versuchspersonen sowohl in allen Potentialen sehr unterschiedlich sein können (KOT-LEH), als auch in allen Potentialen sehr ähnlich (FRE-AUR-ECK), daß aber in der Mehrzahl der Fälle ausgeprägte Verschiedenheit in einem und große Ähnlichkeit bei anderen Potentialen im Vergleich zweier Versuchspersonen zur Darstellung kommt. Aus den beobachteten großen intersubjektiven Unterschieden in den durchschnittlichen Amplituden der Potentiale I, III und V ergab sich die Frage, ob große Amplitudenwerte für eines der Potentiale auch mit großen Werten für die anderen Potentiale einhergehen.

Eine Rangeinteilung der Amplituden der 8 Versuchspersonen für die 3 Potentiale führte zu folgender Aufstellung:

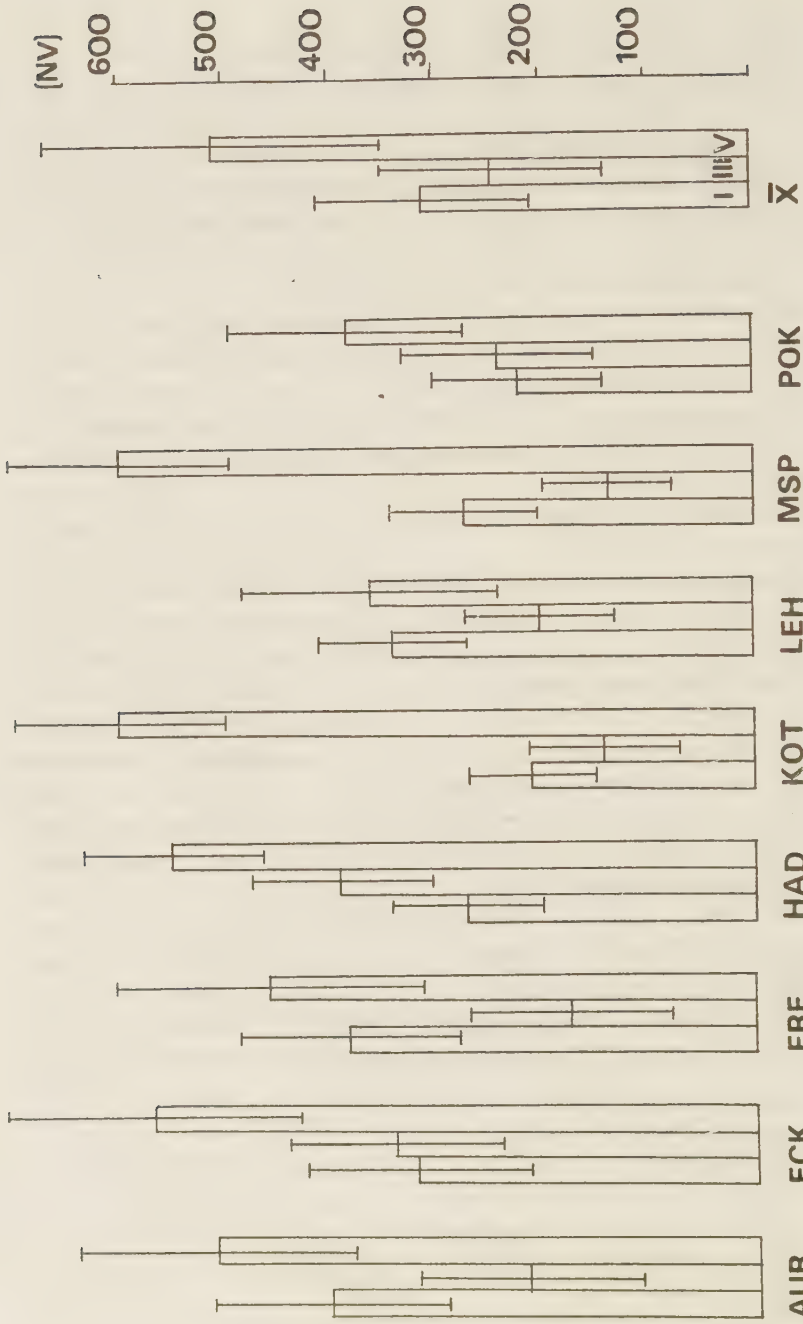


Bild 13 Mittelwerte(+s) der absoluten Amplitudenwerte für die Potentiale I, III und V nach Clickreizung(80 dB HL, 20/s), getrennt nach Versuchspersonen und gemittelt über alle Versuchspersonen.

Tabelle 15

Mittelwerte der Amplituden, getrennt nach Versuchspersonen
Amplituden in nV

Potential	AUR	ECK	FRE	HAD	KOT	LEH	MSP	POK
I	401	321	385	272	207	338	270	220
s	109	109	104	74	64	74	72	78
III	214	339	175	388	142	200	138	240
s	107	98	94	88	72	70	58	90
V	509	568	460	551	601	358	602	382
s	130	138	146	86	103	124	108	110

Tabelle 16

Ergebnisse des korrelierten T - Tests für Amplitudenwerte
Signifikanzniveau für Verschiedenheit der Messwertreihen
Irrtumswahrscheinlichkeit in %

	AUR	ECK	FRE	HAD	KOT	LEH	MSP	POK
AUR I								
III								%
V								
ECK I	5							
III	1							
V	40							
FRE I	90	20						
III	50	2						
V	70	5						
HAD I	16	20	5					
III	1	40	1					
V	30	90	5					
KOT I	1	1	2	2				
III	5	1	40	0.1				
V	10	30	10	10				
LEH I	5	90	40	5	1			
III	20	5	10	1	1			
V	1	1	2	1	1			
MSP I	1	10	2	80	2	5		
III	10	1	30	1	90	1		
V	5	30	50	20	90	1		
POK I	1	2	2	5	50	1	5	
III	30	1	30	1	1	50	1	
V	5	1	30	1	1	10	1	

VP	A	E	F	H	K	L	M	P
I	8	5	7	4	1	6	3	2
III	5	7	3	8	2	4	1	6
V	4	6	3	5	7	1	8	2
E	17	18	13	17	9	11	12	10

$\chi^2 : 3.28$

Ein χ^2 im Friedmann Test ist hier nicht signifikant auf dem 25 % Niveau und zeigt, daß die Annahme einer Verschiedenheit der Rangsummen mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 25 % belastet wäre. Diese Verschiedenheit wäre zu erwarten, wenn ein großer Amplitudenwert für ein Potential regelmäßig mit großen Werten für die anderen Potentiale einhergehen würde.

3.2.3 Variabilität der Potentialform

Durch die beschriebenen interindividuellen und intra-individuellen Unterschiede in absoluten Latenzen, relativen Latenzen und Amplituden entsteht eine Variabilität der Kurvenform, mit der das Hirnstammpotential dargestellt wird. Eine systematische Untersuchung der Kurvenform wird versucht von CHIAPPA et al. (1979). CHIAPPA teilt die Hirnstammpotentialkurven nach der Form des IV/V Komplexes in 6 verschiedene Typen A-F ein, und legt dabei folgende Einteilungskriterien zugrunde:

- Typ A Ein einzelner Peak, dessen Latenz im Bereich der Latenz des Potentials V liegt.
- Typ B Ein Potential IV ist erkennbar, dessen Peak unterhalb des Peaks von Potential V liegt.
- Typ C Ein Potential IV ist erkennbar, dessen Peak oberhalb des Peaks von Potential V liegt.
- Typ D Potential V erscheint lediglich als Ausbuchtung an der absteigenden Flanke von Potential IV.
- Typ E Potential IV erscheint lediglich als Ausbuchtung an der aufsteigenden Flanke von Potential V
- Typ F Für Potential IV und V sind Peaks erkennbar, die auf gleicher Höhe liegen.

Bei Anwendung dieser Kriterien auf die weiter oben besprochenen Registrierungen dieser Arbeit ergab sich die Verteilung in Tabelle 17 a.

Diese Tabelle zeigt die Verteilung der Typen A-F des IV/V Komplexes innerhalb der Stichprobe von 8 Versuchspersonen.

Weit-aus die meisten Registrierungen haben eine Form vom Typ B (51,6 %), ca. 30 % entfallen auf Typ A, die restlichen 20 % verteilen sich auf die übrigen 4 Typen.

Interindividuell finden sich auch bei diesem Kriterium stark unterschiedliche Verteilungen (Tabelle 17 b).

Die Versuchspersonen POK, LEH, HAD zeigen deutliche Tendenz zu einem Typ, MSP und FRE zu je 2 Typen. ECK und AUR zeigen größere Variabilität.

Ein Vergleich mit den prozentualen Anteilen, die in der Arbeit von CHIAPPA et al. (1979) auf die einzelnen Typen entfallen, ergibt weitgehende Übereinstimmung auf die Typen D, E und F.

Typ B ist in beiden Untersuchungen der häufigste Typ. Stärkere Unterschiede bestehen in Typ A und besonders Typ C, dem in dieser Untersuchung 3 %, bei CHIAPPA et al. 30 % der Registrierungen zuzurechnen sind.

Bei 3 von 52 Versuchspersonen lag in den Registrierungen von CHIAPPA das Potential III regelmäßig in gespaltener Form vor, in unseren Registrierungen bei einer von 8 Versuchspersonen.

EDWARDS et al. (1982) fanden in vergleichbarer Versuchsanordnung bei 3 von 10 Versuchspersonen Extrapeaks zusätzlich zu den üblicherweise angegebenen Potentialen I-V im Zeitraum zwischen den Potentialen I und V.

Von diesen lagen ohne genaue Zahlenangabe die meisten im Bereich zwischen Potential II und Potential IV, sind also mit Doppelgipfeln des Potential III vergleichbar. Bei 50 % ihrer Versuchspersonen beobachteten die Autoren vorübergehend oder dauernd eine einzelne Welle V ohne vorhergehende Welle IV, im Latenzbereich des Potentials V (= Typ A). Eine Angabe des genauen prozentualen Anteils wird nicht gemacht.

Tabelle 17 a

Typen des IV/V Komplexes nach CHIAPPA et al. (1979)

Typ	diese Arbeit	CHIAPPA et al. (1979)
A	30,7 %	14 %
B	51,6 %	38 %
C	2,6 %	33 %
D	3,0 %	4 %
E	9,2 %	10 %
F	2,6 %	1 %
	(n = 153)	(n = 104)

Verteilung der Versuchspersonen auf die Typen A-F

	A	B	C	D	E	F
AUR	8	1	2	2	4	1
ECK	2	11	-	-	4	1
FRE	7	10	-	-	1	-
HAD	1	15	1	-	2	1
LEH	-	17	1	-	1	-
KOT	1	17	-	-	2	-
MSP	12	7	-	-	-	-
POK	16	-	-	2	1	1

Tabelle 17 b

Typen des IV/V Komplexes nach CHIAPPA et al. (1979),
getrennt nach Versuchspersonen und Versuchstagen

Versuchstag	AUR	ECK	FRE	HAD	LEH	KOT	MSP	POK
1 I	E	B	B	B	B	B	A	A
II	E	B	B	B	B	B	-	A
III	E	E	B	B	B	E	B	A
IV	D	B	A	F	B	B	A	A
V	E	A	A	E	B	B	A	A
2 I	A	B	B	A	B	B	B	D
II	B	-	E	B	B	B	B	A
III	F	B	B	C	B	B	B	A
IV	D	B	-	B	B	B	A	A
V	C	A	B	B	B	B	A	E
3 I	A	B	B	B	-	B	B	A
II	A	E	B	B	B	B	A	A
III	A	B	B	B	C	E	A	A
IV	A	B	D	B	B	B	B	F
V	C	B	A	E	E	A	A	A
4 I	E	B	A	B	B	B	A	D
II	A	E	B	B	B	B	A	A
III	A	F	A	B	B	B	A	A
IV	A	B	B	B	B	B	B	A
V	A	E	A	B	B	B	A	A

3.3 Lärminduzierte Veränderungen der Hirnstammpotentiale

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mehrerer europäischer Laboratorien wurde am Institut für Physiologie und Biokybernetik in Erlangen eine Pilotstudie über die Beeinflussung verschiedener objektiv messbarer Parameter durch Einwirkung unterschiedlicher Arten von Lärm durchgeführt (SPRENG 1981). Unter anderem wurde dabei ein möglicher Einfluß auf im Anschluß an Lärmbeschallung registrierte Hirnstammpotentiale untersucht.

Die Versuchspersonen wurden für die Dauer von 11 Minuten mit "Lärm" verschiedener Art am linken Ohr beschallt. Unmittelbar im Anschluß wurden vom selben Ohr akustisch evozierte Hirnstammpotentiale abgeleitet, und zwar je 4 Registrierungen (A, B, C, D) zu $n = 1000$ Reizen mit einer Folgefrequenz von 20/s und 80 dB HL Intensität. Sämtliche Registrierungen erfolgten in Versuchsanordnung B (Kap. 2). Alle Reizbedingungen waren gleich den Reizbedingungen der Messungen 1 - 4, die vor der Lärmbeschallung durchgeführt worden waren und die im Kapitel 3.2 besprochen sind, so daß lediglich die Lärmbeschallung als neue Bedingung in die Versuchssituation eingeführt wurde.

Getestet wurde in 5 Versuchssituationen I - V. In Situation I bestand der Lärm aus konstantem "Weissen Rauschen", in Situation II aus 200 ms langen Bursts aus "Weissem Rauschen" in regelmäßiger Folge, in Situation IV aus Impulsbursts in regelmäßiger Folge, in Situation V aus Impulsbursts in unregelmäßiger Folge. In Situation III trat anstelle der Lärmphase eine gleichlange Stilleperiode.

Als erste allgemein orientierende Auswertung wurden die Mittelwerte für Latenz und Amplitude aller Werte vor einer Lärmphase (Registrierungen 1 - 4) und nach einer Lärmphase (Registrierungen A - D) errechnet und in Bild (14) graphisch dargestellt, die zugehörigen Zahlenwerte sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten und der Varianz der Werte vor Lärm zu den Werten nach Lärm. Dies gilt gleichermaßen für Latenz- wie Amplitudenwerte.

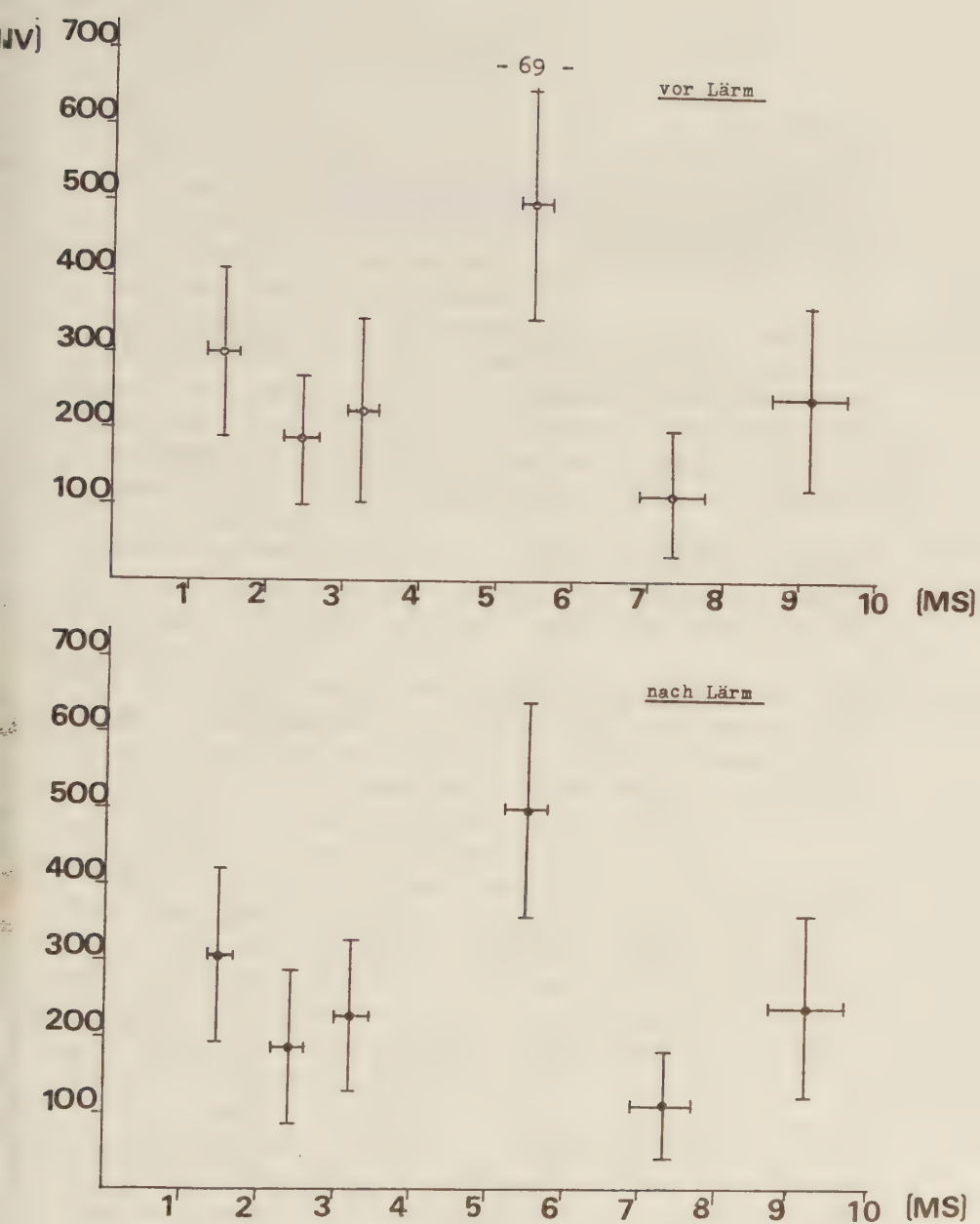


Bild 14 Mittelwerte ($\pm s$) der Amplituden-(in nV) und Latenzwerte(in ms) für die Potentiale I,II,III,V,VI und VII,gemittelt über alle Lärmsituationen I-V und alle Versuchspersonen, getrennt nach Registrierung vor und nach Lärmbeschallung.

Tabelle 18

Mittelwerte aus allen Werten vor und nach Lärm
(Latenzen und Amplituden), gemittelt über alle
Lärmsituationen I - V

Potential	Latenzen in ms		Amplituden in nV	
	vor	nach	vor	nach
I	1.43	1.44	300	302
s	0.11	0.12	110	110
s'	0.01	0.01	9	10
II	2.43	2.46	184	188
s	0.19	0.21	86	98
s'	0.02	0.02	7	8
III	3.57	3.59	223	226
s	0.20	0.21	120	94
s'	0.02	0.02	10	8
IV	4.61	4.64		
s	0.22	0.30		
s'	0.02	0.03		
V	5.49	5.51	501	499
s	0.24	0.26	152	140
s'	0.02	0.02	12	11
VI	7.32	7.33	112	109
s	0.46	0.46	86	73
s'	0.04	0.04	10	8
VII	9.15	9.17	239	238
s	0.55	0.50	118	122
s'	0.05	0.05	10	10

3.3.1 Verhalten der Latenzwerte der Potentiale I, II und V

Eine Darstellung der absoluten Latenzwerte der Potentiale I, III und V in Klassen zu 0,05 ms entsprechend der Ablesegenauigkeit führt zu ähnlichen Verteilungen wie bei den Werten vor Lärmeinwirkung.

In den Bildern A1 - A3 (im Anhang) sind die im Anschluß an bei unterschiedlichen Lärmsituationen registrierten Werte mit verschiedenen Symbolen dargestellt. Es besteht keine klare Beziehung zwischen der Art der Beschallung und der Rangfolge in der Verteilung, d.h. keine Bedingung führt regelmäßig zu kürzeren oder längeren Latenzen als die anderen Bedingungen.

Zusätzlich wurden die beiden Verteilungen der Latenzwerte vor Lärmbeschallung und nach Lärmbeschallung mit einem Kolmogorov-Smirnow Test für 2 Stichproben auf Unterschiedlichkeit geprüft.

Für keines der Potentiale I, III und V ergab dieser Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Werten vor Lärm und den Werten nach Lärm auf dem 5 % Niveau.

Ein Vergleich der relativen Latenzen IPL (I-V) ergab erwartungsgemäß ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den Verteilungen (Bild A4 im Anhang).

Schließlich wurde noch ein Vergleich der Latenzdifferenzen der Wertepaare "vor Lärm" - "nach Lärm", also der Paare A-1, B-2, C-3, D-4 für alle Versuche durchgeführt. Die errechneten Differenzen sind in Tabelle 19 a - c eingetragen, aufgegliedert nach Versuchspersonen und Lärmsituationen. Am rechten Rand der Tabelle ist der Mittelwert für das korrelierte Paar angegeben.

Die Differenzbeträge liegen zwischen -0,04 ms und + 0,13 ms, aufgrund der Variabilität der zugrundeliegenden Einzelwerte überschritt der Bereich einer Standardabweichung jedoch regelmäßig erheblich den Nullpunkt, so daß man keine sicheren Angaben über eine regelmäßige Veränderung der Latenz geben kann.

Es läßt sich aber eine Tendenz zu längeren Latenzwerten nach Lärm feststellen. Beim Vergleich der korrelierten Paare ist in einem deutlich höheren Prozentsatz der Wert für die Latenz nach Lärm größer, besonders für die Potentiale III und V (Tabelle 20).

Tabelle 19 a

Differenzen zwischen den Latenzen der korrelierten Wertepaare vor und nach Lärmbeschallung (in ms)
Potential I

Wertepaar	Versuchspersonen			
	AUR	ECK	FRE	HAD
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)				
A - 1	0.00	+0.07	+0.06	+0.06
B - 2	0.00	0.00	0.00	0.00
C - 3	-0.07	+0.06	0.00	+0.07
D - 4	-0.06	-0.06	0.00	-0.06
Lärmsituation II (Bursts aus Weisssem Rauschen)				
A - 1	+0.06	-0.07	-0.13	0.00
B - 2	0.00	-	0.00	+0.13
C - 3	-0.13	-0.06	-0.06	+0.13
D - 4	0.00	0.00	-0.14	0.00
Lärmsituation III (Stille)				
A - 1	-0.06	+0.26	-0.07	+0.06
B - 2	-0.20	+0.13	-0.13	+0.13
C - 3	-0.06	+0.20	0.00	0.00
D - 4	0.00	+0.13	0.00	+0.07
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)				
A - 1	+0.06	0.00	+0.07	-0.13
B - 2	+0.06	+0.07	0.00	0.00
C - 3	0.00	-0.06	+0.06	+0.06
D - 4	-0.04	-	+0.13	0.00
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)				
A - 1	0.00	0.00	+0.07	+0.07
B - 2	-0.07	+0.06	+0.07	-0.06
C - 3	-0.07	+0.13	0.00	-0.06
D - 4	-0.18	+0.12	-0.06	-0.06

Fortsetzung Tabelle 19 a

Wertepaar	Versuchspersonen				$\bar{X}$	s
	KOT	LEH	MSP	POK		
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)						
A - 1	-0.06	+0.07	0.00	+0.13	0.04	(0.06)
B - 2	-0.06	-0.07	-0.06	+0.13	0.01	(0.07)
C - 3	+0.03	+0.07	+0.13	+0.06	0.04	(0.06)
D - 4	0.00	-0.03	0.00	+0.13	-0.01	(0.06)
Lärmsituation II (Bursts aus Weissm Rauschen)						
A - 1	-0.06	+0.06	-	+0.12	0.00	(0.09)
B - 2	+0.06	-0.06	-0.13	-0.12	-0.02	(0.09)
C - 3	0.00	0.00	+0.07	+0.06	0.00	(0.08)
D - 4	0.00	+0.06	0.00	+0.32	0.03	(0.13)
Lärmsituation III (Stille)						
A - 1	0.00	0.00	0.00	+0.07	0.03	(0.10)
B - 2	0.00	+0.07	0.00	+0.06	0.01	(0.12)
C - 3	+0.06	-0.07	+0.07	-0.13	0.01	(0.10)
D - 4	0.00	0.00	-0.12	-0.20	-0.02	(0.10)
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)						
A - 1	-0.13	-0.13	-0.07	0.00	-0.04	(0.08)
B - 2	0.00	-0.13	+0.14	-0.07	0.03	(0.08)
C - 3	+0.07	-0.07	-0.06	+0.26	0.03	(0.10)
D - 4	+0.13	0.00	+0.21	+0.13	0.08	(0.09)
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)						
A - 1	-0.07	-0.13	-0.06	+0.14	0.00	(0.09)
B - 2	-0.13	0.00	0.00	+0.12	0.00	(0.08)
C - 3	+0.07	0.00	+0.18	-0.05	0.03	(0.09)
D - 4	0.00	+0.06	+0.12	+0.06	0.05	(0.09)

Tabelle 19 b

Differenzen zwischen den Latenzen der korrelierten Wertepaare vor und nach Lärmbeschallung (in ms)
Potential III

Wertepaar	Versuchspersonen			
	AUR	ECK	FRE	HAD
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)				
A - 1	+0.19	+0.05	-0.20	+0.06
B - 2	<u>±0</u>	+0.08	+0.26	+0.07
C - 3	+0.07	-0.05	<u>±0</u>	-0.10
D - 4	<u>±0</u>	<u>±0</u>	+0.11	-0.23
Lärmsituation II (Bursts aus Weisses Rauschen)				
A - 1	<u>±0</u>	-0.13	-0.20	<u>±0</u>
B - 2	-0.01	-	<u>±0</u>	<u>±0</u>
C - 3	+0.25	-0.06	<u>±0</u>	+0.06
D - 4	<u>±0</u>	+0.07	-0.13	<u>±0</u>
Lärmsituation III (Stille)				
A - 1	-0.06	+0.20	+0.39	-0.06
B - 2	-0.26	<u>±0</u>	+0.45	-0.13
C - 3	-0.06	+0.13	+0.06	+0.06
D - 4	-0.06	<u>±0</u>	-0.13	+0.06
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)				
A - 1	+0.06	<u>±0</u>	+0.06	+0.19
B - 2	-0.07	-0.06	-0.07	+0.07
C - 3	-0.07	-0.18	+0.06	<u>±0</u>
D - 4	-0.06	-	-0.22	+0.13
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)				
A - 1	+0.39	+0.06	+0.39	-0.06
B - 2	-0.13	+0.13	+0.39	<u>±0</u>
C - 3	-0.06	+0.13	+0.12	-0.06
D - 4	+0.19	+0.20	+0.06	+0.07

Fortsetzung Tabelle 19 b

Wertepaar	Versuchspersonen				$\bar{X}$	s
	KOT	LEH	MSP	POK		
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)						
A - 1	-0.19	+0.18	+0.46	+0.07	+0.08	(0.22)
B - 2	-0.13	<u>±0</u>	-0.06	-0.06	+0.02	(0.12)
C - 3	+0.19	<u>±0</u>	+0.02	+0.18	+0.04	(0.10)
D - 4	<u>±0</u>	+0.19	-0.04	-0.13	0.01	(0.13)
Lärmsituation II (Bursts aus Weisssem Rauschen)						
A - 1	+0.14	+0.06	-	+0.06	0.01	(0.11)
B - 2	-0.13	+0.05	+0.14	+0.20	0.04	(0.11)
C - 3	<u>±0</u>	+0.06	+0.14	+0.33	0.10	(0.13)
D - 4	<u>±0</u>	-0.06	+0.18	+0.14	0.03	(0.10)
Lärmsituation III (Stille)						
A - 1	+0.07	<u>±0</u>	-0.07	+0.13	0.08	(0.16)
B - 2	+0.08	+0.06	<u>±0</u>	+0.20	0.05	(0.21)
C - 3	+0.14	+0.07	+0.13	+0.26	0.10	(0.09)
D - 4	+0.19	+0.06	-0.06	-0.19	0.02	(0.12)
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)						
A - 1	<u>±0</u>	+0.07	<u>±0</u>	-0.07	0.04	(0.08)
B - 2	-0.06	-0.07	+0.06	-0.06	-0.03	(0.06)
C - 3	-0.06	0.25	+0.06	+0.13	0.02	(0.13)
D - 4	+0.06	<u>±0</u>	+0.06	<u>±0</u>	<u>±0.00</u>	(0.11)
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)						
A - 1	+0.06	+0.06	+0.12	+0.13	0.11	(0.14)
B - 2	+0.06	+0.06	-0.13	+0.13	0.03	(0.18)
C - 3	+0.17	-0.06	+0.13	+0.16	0.05	(0.10)
D - 4	-0.13	-0.01	+0.06	+0.32	0.13	(0.11)

Tabelle 19 c

Differenzen zwischen den Latenzen der korrelierten Wertepaare vor und nach Lärmbeschallung (in ms)
Potential V

Wertepaar	Versuchspersonen			
	AUR	ECK	FRE	HAD
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)				
A - 1	+0.20	+0.06	+0.26	-0.06
B - 2	-0.06	-0.07	-0.26	-0.12
C - 3	+0.06	+0.13	± 0	+0.06
D - 4	-0.06	+0.26	-0.06	-0.14
Lärmsituation II (Bursts aus Weisses Rauschen)				
A - 1	+0.06	-0.12	± 0	± 0
B - 2	-0.06	-	± 0	± 0
C - 3	-0.06	± 0	-0.25	+0.14
D - 4	+0.10	+0.14	-0.27	± 0
Lärmsituation III (Stille)				
A - 1	-0.13	+0.51	± 0	-0.06
B - 2	+0.06	+0.32	+0.13	+0.06
C - 3	+0.06	+0.19	± 0	-0.06
D - 4	+0.06	+0.19	-0.06	-0.06
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)				
A - 1	+0.06	+0.14	+0.06	-0.06
B - 2	+0.06	+0.06	± 0	+0.14
C - 3	± 0	+0.20	-0.06	-0.06
D - 4	-0.04	-	-0.18	+0.13
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)				
A - 1	+0.12	-0.25	+0.06	+0.13
B - 2	-0.14	+0.14	+0.12	+0.12
C - 3	+0.06	+0.12	± 0	± 0
D - 4	-0.12	-0.33	+0.06	± 0

Fortsetzung Tabelle 19 c

Wertepaar	Versuchspersonen					
	KOT	LEH	MSP	POK	$\bar{X}$	s
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)						
A - 1	± 0	± 0	+0.06	-0.06	0.06	(0.12)
B - 2	-0.25	+0.13	± 0	± 0	-0.08	(0.13)
C - 3	-0.06	-0.06	-0.57	-0.07	0.05	(0.31)
D - 4	-0.14	+0.06	-0.06	+0.12	0.03	(0.12)
Lärmsituation II (Bursts aus Weisses Rauschen)						
A - 1	+0.06	+0.13	-	+0.06	0.03	(0.08)
B - 2	+0.20	+0.06	± 0	+0.20	0.06	(0.10)
C - 3	+0.07	-0.06	± 0	+0.33	0.02	(0.17)
D - 4	+0.14	+0.06	± 0	+0.24	0.05	(0.15)
Lärmsituation III (Stille)						
A - 1	-0.15	± 0	+0.04	± 0	0.03	(0.21)
B - 2	-0.13	+0.13	+0.12	± 0	0.09	(0.13)
C - 3	+0.06	+0.07	-0.07	± 0	0.03	(0.08)
D - 4	± 0	+0.07	-0.10	-0.11	0.0	(0.1)
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)						
A - 1	± 0	+0.06	+0.06	+0.12	0.06	(0.06)
B - 2	-0.20	+0.13	+0.06	+0.11	0.05	(0.11)
C - 3	± 0	+0.07	± 0	± 0	0.02	(0.08)
D - 4	+0.07	+0.20	± 0	+0.06	0.03	(0.12)
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)						
A - 1	+0.06	± 0	-0.13	+0.06	0.01	(0.13)
B - 2	± 0	± 0	-0.07	-0.06	0.02	(0.11)
C - 3	± 0	+0.06	+0.06	-0.26	0.01	(0.12)
D - 4	+0.13	-0.20	± 0	+0.13	-0.04	(0.16)

Tabelle 2o a

Zusammenstellung der Latenzdifferenzen zwischen den korrelierten Wertepaaren aus den Tabellen 19 a - c ohne Berücksichtigung der absoluten Beträge zur Ermittlung eines Trends

Potential I				Potential III			
+	o	-	Ø	+	o	-	Ø
Lärmsituation I (Weisses Rauschen)							
5	2	1	o	6	o	2	o
1	4	3	o	3	2	3	o
6	1	1	o	4	2	2	o
1	3	4	o	2	3	3	o
Lärmsituation II (Bursts aus Weisssem Rauschen)							
3	1	3	1	3	2	2	1
2	2	3	1	3	2	2	1
3	2	3	o	5	2	1	o
2	5	1	o	4	2	2	o
Lärmsituation III (Stille)							
3	3	2	o	4	1	3	o
4	2	2	o	4	2	2	o
3	2	3	o	7	o	1	o
2	4	2	o	3	1	4	o
Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)							
2	2	4	o	4	3	1	o
3	3	2	o	2	o	6	o
4	1	3	o	4	1	3	o
4	2	1	1	3	2	2	1
Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)							
3	2	3	o	7	o	1	o
3	2	3	o	5	1	2	o
3	2	3	o	5	o	3	o
4	1	3	o	6	o	2	o
61	46	50	3	84	26	47	3

Fortsetzung Tabelle 2o a

Potential V

+	o	-	∅	Wertepaar
---	---	---	---	-----------

Lärmsituation I (Weises Rauschen)

4	2	2	o	A - 1
1	2	5	o	B - 2
5	1	2	o	C - 3
3	1	4	o	D - 4

Lärmsituation II (Bursts aus Weisssem Rauschen)

4	1	1	o	A - 1
3	3	1	1	B - 2
3	2	3	o	C - 3
5	2	1	o	D - 4

Lärmsituation III (Stille)

2	3	3	o	A - 1
6	1	1	o	B - 2
4	2	2	o	C - 3
3	1	4	o	D - 4

Lärmsituation IV (Impulslärm regelmäßig)

6	1	1	o	A - 1
6	1	1	o	B - 2
2	4	2	o	C - 3
4	1	2	1	D - 4

Lärmsituation V (Impulslärm unregelmäßig)

5	1	2	o	A - 1
3	2	3	o	B - 2
4	3	1	o	C - 3
3	2	3	o	D - 4

78	36	44	2
----	----	----	---

Summen der Spalten

n = 160

Abkürzungen siehe Tabelle 2o b

Tabelle 2o b

Verhältnis der Latenzwerte der korrelierten Paare vor und nach Lärmbeschallung in Prozentangaben, getrennt nach Potentialen.

	+	o
Potential I		
- alle Situationen	38 %	29 %
- ohne Situation III	38 %	27 %
- Differenz 0.07 ms	19 %	
Potential III		
- alle Situationen	53 %	16 %
- ohne Situation III	53 %	17 %
- Differenz 0.07 ms	28 %	
Potential V		
- alle Situationen	49 %	22 %
- ohne Situation III	49 %	23 %
- Differenz 0.07 ms	23 %	

Fortsetzung Tabelle 2o b

	-	Ø	Summe
Potential I			
- alle Situationen	31 %	2 %	100 %
- ohne Situation III	32 %	3 %	100 %
- Differenz 0.07 ms	10 %		29 %
Potential III			
- alle Situationen	29 %	2 %	100 %
- ohne Situation III	29 %	2 %	100 %
- Differenz 0.07 ms	11 %		39 %
Potential V			
- alle Situationen	28 %	1 %	100 %
- ohne Situation III	27 %	1 %	100 %
- Differenz 0.07 ms	14 %		37 %

Erklärung der Abkürzungen:

- + : im korrelierten Paar ist der Latenzwert nach Lärm größer
- : im korrelierten Paar ist der Latenzwert vor Lärm größer
- o : kein Unterschied zwischen den Werten vor und nach Lärm
- Ø : kein Ergebnis

3.3.2 Verhalten der Amplitudenwerte der Potentiale I, III und V

Zwischen den Gesamtmittelwerten und der Streuung aller Amplitudenwerte vor und nach Lärm besteht kein signifikanter Unterschied. Dies gilt mit geringen Unterschieden für alle Potentiale (Bild 14).

Als nächstes wurden deshalb die Mittelwerte getrennt nach Versuchssituationen und Registrierung vor und nach Lärm errechnet und verglichen.

Auch hier bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten vor und nach Lärm innerhalb derselben Versuchssituation. Ebenfalls bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchssituationen. (Bilder A 5 - A 14 im Anhang).

Eine Darstellung der Mittelwerte getrennt nach Lärmsituation, Registrierung vor und nach Lärm und zusätzlich noch der Position innerhalb der Reihe 1 - 4, bzw. A - D läßt z.T. beträchtliche Unterschiede im Betrag der Mittelwerte erkennen, diese Unterschiede bestehen jedoch gleichermaßen zwischen den Werten vor Lärm wie zwischen den Werten nach Lärm. (Bilder A 15 - A 24 im Anhang)

In Bild 15 ist das Verhalten der Potentiale I, III, V in den 4 Situationen I (Weisses Rauschen), II (Bursts aus Weißem Rauschen), IV (Impulslärm regelmäßig) und V (Impulslärm unregelmäßig) in einer Übersicht dargestellt.

In Anbetracht der großen intersubjektiven Unterschiede in den Amplitudenwerten wurden neben den Mittelwerten der Absolutwerte auch die Mittelwerte der relativen Abweichungen der Amplitudenwerte nach Lärm von den Werten vor Lärm errechnet. Dazu wurde für jedes der Potentiale I, III, V getrennt nach Lärmsituationen und Versuchspersonen der Amplitudenwert in der ersten Registrierung vor Lärm (= 1) geteilt durch den Amplitudenwert der ersten Registrierung nach Lärm (= A). der entstehende Quotient wurde mit 100 multipliziert. So ergab sich ein Prozentwert ($100 \cdot 1/A$),

before noise

after noise

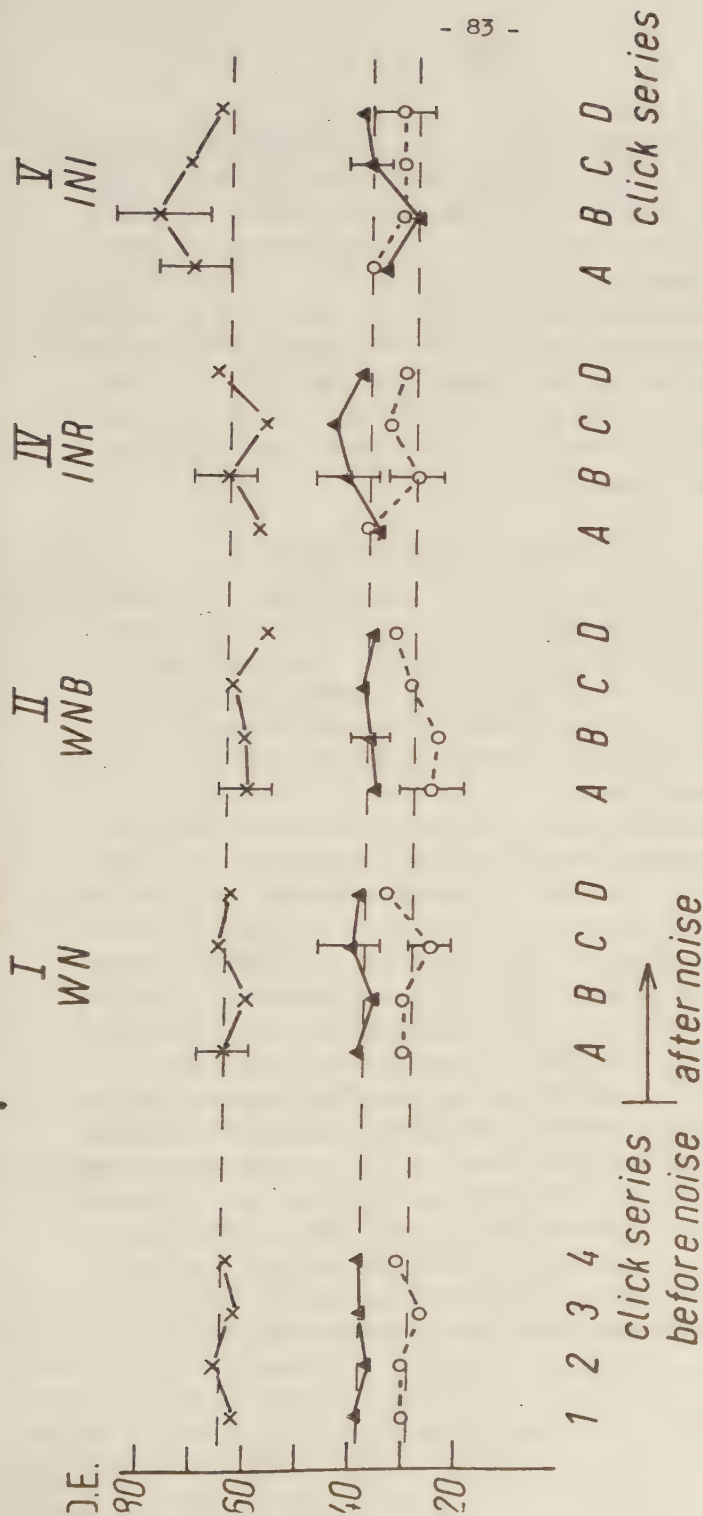


Bild 15

Verhalten der Mittelwerte der absoluten Amplituden für die Potentiale I, II, III, V des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A, B, C, D im Anschluß an die verschiedenen Lärmexpositionen I, II, IV, V, im Vergleich zu den Mittelwerten der Potentiale I, II, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor Lärmexposition. (10 D.E. = 80 nV) (Bild aus SPRENG 1981)

× component V
 ○ " III
 ▲ " I

der die Größe des Potentials nach Lärmbeschallung relativ zur Größe des Potentials vor Lärmbeschallung beschreibt. Aus diesen relativen Werten der verschiedenen Versuchspersonen wurde für jedes Potential ein Mittelwert gebildet. Diese Mittelwerte sind in Bild 16 a - c dargestellt, die zugehörigen Zahlenwerte sind aus Tabelle A 1, im Anhang) zu entnehmen. Bei Mittelwerten über 100 % sind die Amplitudenwerte vor Lärm größer als nach Lärm, bei Werten unter 100 % sind die Amplitudenwerte nach Lärm größer. In gleicher Weise erfolgte dieser Vergleich für die Registrierung 2 und B, 3 und C, 4 und D.

Das Verhalten der Potentiale im einzelnen:

Potential I zeigt im Vergleich der absoluten Mittelwerte nach Lärm praktisch keine Abweichung von den Mittelwerten vor Lärm in den Situationen I (Weißes Rauschen) und II (Bursts aus Weißem Rauschen), in Situation IV (Impulslärm regelmäßig) einen größeren Wert für B und C, in Situation V (Impulslärm unregelmäßig) einen deutlich kleineren Wert für B.

Davon abweichend ergibt sich im Vergleich der Relativwerte ein größerer Betrag der Amplitudenwerte vor Lärmbeschallung in Situation I (Weißes Rauschen) für den Vergleich 1/A, in Situation II (Bursts aus Weißem Rauschen) für 4/D. In Situation IV (Impulslärm regelmäßig) erscheint wie bei den Absolutwerten in den Vergleichen 2/b und 3/C ein kleinerer Wert vor Lärm, abweichend jedoch ein größerer Wert vor Lärm für die Wertepaare 1/A und 4/D.

In Situation V (Impulslärm unregelmäßig) stimmen Absolut- und Relativwerte überein, mit jeweils deutlich kleinerem Wert von B gegen 2. Für Potential III ergeben sich in absoluter und relativer Darstellung in Situation I (Weißes Rauschen) gleiche Werte für 1/A und 2/B, verringerte Amplitude von C gegen 3 und vergrößerte Amplitude von D gegen 4. In Situation II (Bursts aus weißem Rauschen) sind die Amplituden von A und B absolut und relativ ver-

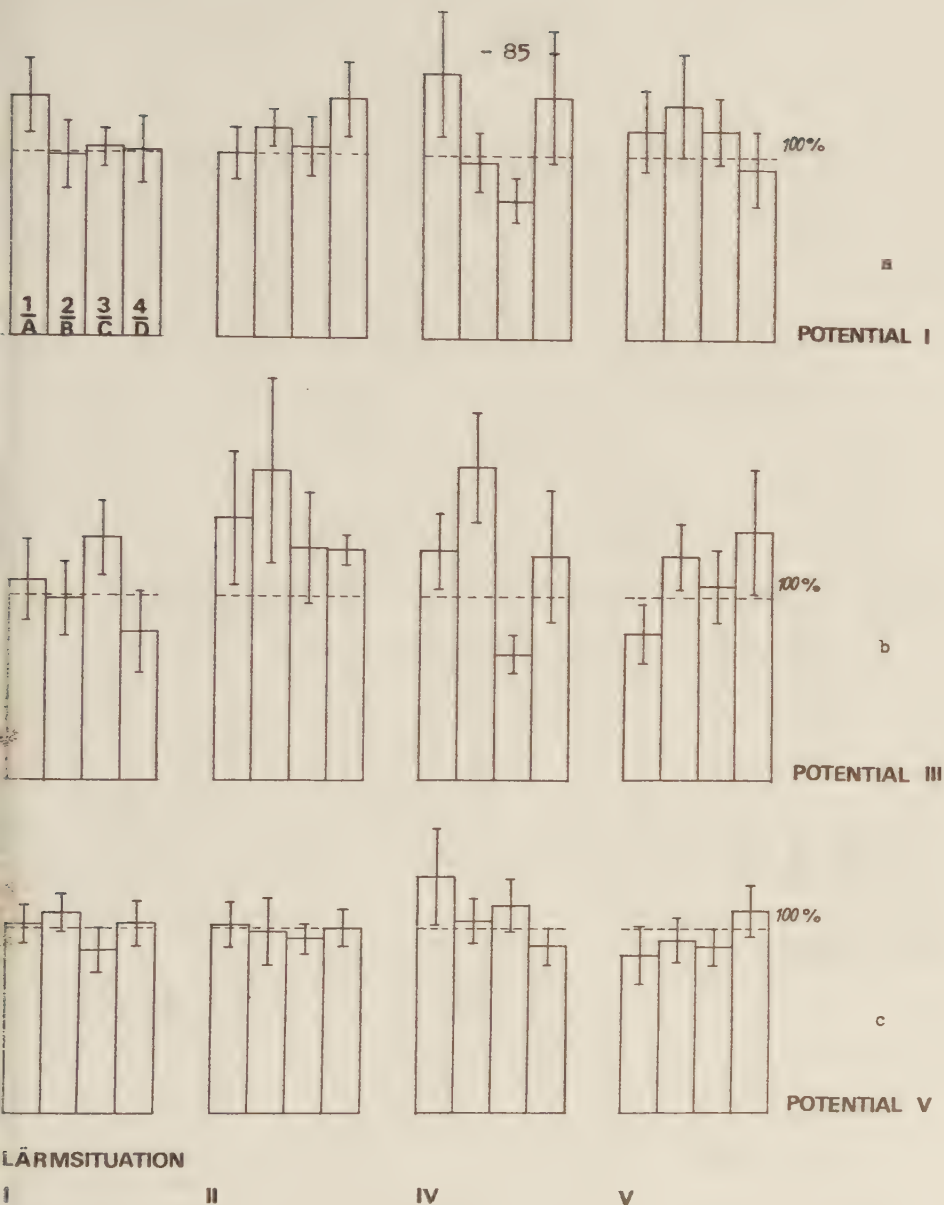


Bild 16

Relative Größe der Amplitudenwerte nach Lärmbeschallung zu den Amplitudenwerten vor Lärmbeschallung in Prozent($\pm$ s), getrennt für die Potentiale I, III und V in den verschiedenen Lärmsituationen I, II, IV, V.

(Bei Werten über 100% ist der absolute Amplitudenwert des Potentials vor Lärm "1,2,3,4" größer als nach Lärm "A,B,C,D")

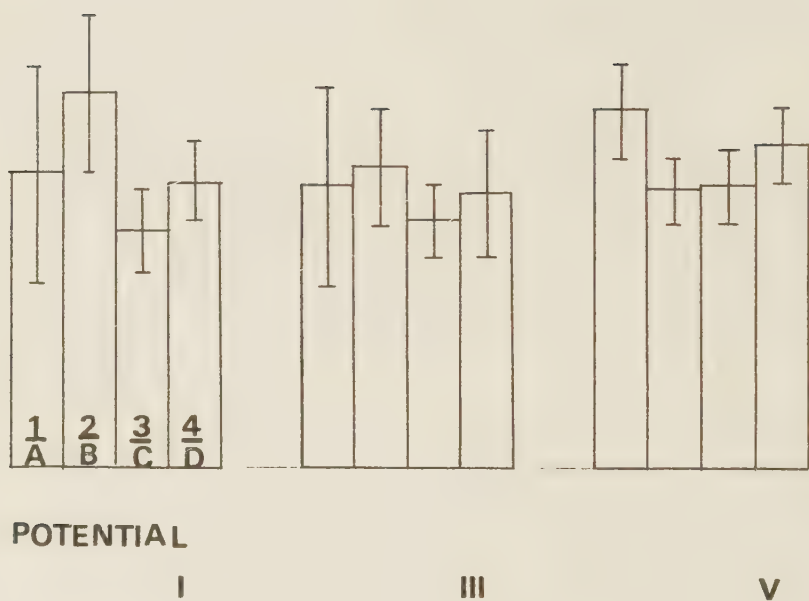


Bild 17

Relative Größe der Amplitudenwerte nach Lärmsituation III (Stille) zu den Werten vor der Stilleperiode in Prozent (Mittelwert $\pm s$), getrennt für die Potentiale I, III und V.

(Bei Werten über 100% ist der absolute Amplitudenwert des Potentials vor der Stilleperiode größer als nach der Stilleperiode)

ringert gegen 1 und 2. Die Relativwerte bleiben auch für C und D kleiner als 3 und 4, die Absolutwerte werden größer.

In Situation IV (Impulslärm regelmäßig) ist A im absoluten Vergleich sehr viel größer der Mittelwert von 1, der Relativwert ist jedoch deutlich kleiner als 1. B ist gleich dem absoluten Mittelwert vor Lärm, relativ jedoch ebenfalls kleiner als 2. Für 3/C und 4/D führen die beiden Berechnungen dann wieder zu ähnlichen Ergebnissen: C größer als 3, D kleiner als 4.

In Situation V (Impulslärm unregelmäßig) ist A relativ und absolut größer als 1, ebenso treten im absoluten Vergleich der Paare 2/B und 3/C mäßig vergrößerte Werte nach Lärm auf bei kleineren Relativwerten nach Lärm für 2/B und 4/D.

Für Potential V führen die Auswertungen zu gleichartigem Verhalten in Situation I (Weißes Rauschen): gleich Werte relativ und absolut für 1/A und 4/D, leichte Abweichungen zu größeren Werten vor Lärm in 2/B und nach Lärm in 3/C.

In Situation II (Bursts aus Weißem Rauschen) bestehen keine Unterschiede zwischen den Relativwerten, in den Absolutwerten ergeben sich niedrigere Werte nach Lärm in 1/A, 2/B und 4/D.

In Situation IV (Impulslärm regelmäßig) liegen die Absolut- und Relativwerte deutlich niedriger nach Lärm im Verhältnis 1/A und 3/C, kein Unterschied besteht im Verhältnis 2/B. Im Vergleich 4/D sind die Werte nach Lärm leicht erhöht.

In Situation V (Impulslärm unregelmäßig) liegen im absoluten Vergleich alle Werte nach Lärm höher als vor Lärm, am deutlichsten in Beziehung 2/B. Die Relativwerte sind vergrößert nach Lärm für 1/A, 2/B und 3/C, hingegen leicht vermindert für 4/D.

Zum großen Teil führen also Mittelwerte der Absolutwerte und Mittelwerte der Relativwerte zu gleichen Ergebnissen, was bei der großen inter- und intrasubjektiven Variabilität der Messwerte nicht selbstverständlich ist.

Mit den Wertegruppen, bei denen der Mittelwert der Relativwerte deutliche Unterschiede vor und nach Lärmbeschallung aufwies, wurde ein korrelierter T-Test durchgeführt. Dieser Test ergab lediglich für Potential III in der Situation IV (Impulslärm regelmäßig) für die Verhältnisse 2/B und 3/C eine Verschiedenheit der 2 Wertereihen mit Signifikanzniveau 10 %.

Bei allen anderen Beziehungen war die Aussage der Unterschiedlichkeit nur mit meist wesentlich höherer Irrtumswahrscheinlichkeit zu treffen.

Die Ergebnisse des korrelierten T-Tests sind zusammengestellt in Tabelle 21.

Tabelle 21

Ergebnisse des korrelierten T-Tests für Wertepaare mit deutlichen Unterschieden in der Darstellung der Relativwerte der Amplituden vor und nach Lärm.

Lärm-Situation	Paar	t	n	Signifikanzniveau
Potential I				
I	A-1	1.15	8	30 %
II	D-4	-0.90	8	40 %
IV	A-1	-0.88	7	50 %
IV	D-4	-0.89	7	50 %
V	A-1	0.10	8	90 %
V	B-2	0.80	8	50 %
Potential III				
I	C-3	0.74	8	50 %
I	D-4	1.49	8	20 %
II	A-1	1.39	8	30 %
II	B-2	0.74	8	50 %
III	C-3	-0.22	8	50 %
IV	A-1	0.07	7	50 %
IV	B-2	-1.92	7	10 %
IV	C-3	1.94	7	10 %
V	A-1	1.37	7	30 %
V	B-2	0.55	8	50 %
V	D-4	-1.23	8	30 %
Potential V				
I	B-2	-0.90	8	40 %
I	C-3	0.97	8	40 %
IV	A-1	0.20	7	50 %
IV	C-3	0.56	7	50 %
V	A-1	1.53	8	20 %
V	C-3	1.06	8	40 %

Wenn auch die Veränderungen der Amplitudenwerte nicht eindeutig sind, so läßt sich doch zumindest eine Tendenz im Verhalten der Amplitudenwerte bei Lärmbeschallung erkennen.

Im Falle des Potentials III sind von insgesamt 16 Wertegruppen in den verschiedenen Lärmsituationen in 11 Fällen die Relativwerte nach Lärm deutlich kleiner, in 2 Fällen etwa gleich und nur in 3 Fällen deutlich größer.

Die Vergleichswerte für Messungen nach einer Stilleperiode (Situation III) sind mit 1 mal größer, 2 mal gleich und 1 mal kleiner, nach Lärm hingegen ausgeglichen (siehe Bild 17).

Potential I ist in 8 Vergleichen kleiner nach Lärm, in 7 Fällen etwa gleich und in einem Fall deutlich größer nach Lärm.

Potential V ist in 3 Fällen kleiner nach Lärm, in 8 Fällen etwa gleich und in 5 Fällen größer nach Lärm.

Diskussion

Entscheidend für die Beurteilung der an der Oberfläche registrierten Potentiale ist die Frage nach den neuronalen Generatoren dieser Potentiale, und diese Frage steht im Mittelpunkt zahlreicher Arbeiten.

JEWETT und WILLISTON (1971) kamen nach Untersuchungen an der Katze und am Menschen zu dem Ergebnis, daß Potential I mit Sicherheit durch Aktivität des Nervus acusticus hervorgerufen wird, Potential II durch Aktivität im ipsilateralen Nucleus cochlearis, wobei eine Beteiligung anderer Generatorstrukturen nicht ausgeschlossen wurde. Die späteren Wellen seien Summationen aus den Aktivitäten mehrerer Generatoren der Hörbahn, wobei sowohl aufsteigende wie absteigende Systeme beteiligt seien.

Demgegenüber kamen LEV und SOHMER (1972) nach simultanen Mikroelektroden und Farfield Registrierungen an der Katze zu der Ansicht, daß die sukzessive Erregung der im Hirnstamm gelegenen Kerne der Hörbahn die BAEP hervorruft, und gaben die folgende Zuordnung von Potentialen zu Generatorstrukturen:

- N 1 Nervenaktionspotential N. VIII
- N 2 Nucleus cochlearis
- N 3 Obere Olive
- N 4
- N 5 Colliculus inferior

BUCHWALD und HUANG (1975) untersuchten Hirnstammpotentiale an Katzen in verschiedenen Präparationen, u.a. sagittaler Halbseitendurchtrennung des Hirnstamms. Sie stützten das Ergebnis von LEV und SOHMER (1972) und fanden als Generatorstrukturen für die Potentiale P 1 - P 5 der Katze N. acusticus (P 1), Nucleus cochlearis (P 2), Bereich der oberen Olive (P 3), Colliculus inferior (P 4) und zusätzlich Bereich rostral des Colliculus inferior für Potential 5. Bei sagittaler Durchtrennung des Hirnstamms waren die Potentiale P 1 und P 2 unverändert, P 3 und P 5 waren nicht mehr nachweisbar. P 4 war in der Amplitude um die Hälfte vermindert.

Diese Aussagen wurden modifiziert und ergänzt durch HUANG und BUCHWALD (1977) im Zusammenhang mit Einzelzelluntersuchungen. Sie untersuchten in den verschiedenen, zur Hörbahn gehörigen Kerngebieten des Hirnstamms jeweils eine größere Anzahl von Einzelzellen und fanden neben Zellen, die mit einer relativ großen Variabilität der Latenz auf wiederholte akustische Reize reagierten, eine Subpopulation von Zellen, die mit absolut kürzerer Latenz und sehr geringer Variabilität (± 0.1 ms) auf diese Reize reagierten. Die Latenzen dieser Subpopulation korrelierten dabei eng mit den Latenzen der an der Oberfläche gemessenen Potentiale P 1 - P 5. Der Anteil dieser Subpopulation an der Gesamtzellmasse war in tieferen Bereichen der Hörbahn geringer als in höheren Bereichen. Somit seien die an der Oberfläche registrierten Hirnstammpotentiale zu verstehen als Ausdruck der Reaktion dieser stark synchronisierten Subpopulation, deren Aktivität jeweils eine ähnliche Subpopulation in der nächsthöheren Stufe der Hörbahn aktiviert. Weniger synchronisierte Anteile der betreffenden Nuclei seien dagegen nicht von Bedeutung für die BAEP. Diese potentialbestimmenden Subpopulationen liegen für P 2 im Nucleus cochlearis, für P 3 im Bereich der oberen Olive, für P 4 im Bereich des Lemniscus lateralis und für P 5 im Colliculus inferior und Gebieten rostral des Colliculus inferior. Demgegenüber hat GALAMBOS (1981) betont, daß nicht synaptische Aktivität in den Kerngebieten der Hörbahn, sondern Aktivität infolge der Weiterleitung in parallel angeordneten Nervenfasern zu den Oberflächenpotentialen führt, und somit seien Potential I den Fasern des N. acusticus zugeordnet, Potential II dem Corpus trapezoideum und Potential III dem Lemniscus lateralis.

Die Lokalisation der späteren Potentiale könne nicht genau angegeben werden, lediglich für Potential V sei ein Ursprung im Bereich des Colliculus inferior wahrscheinlich.

KEVANISHVILI (1980) hat nach vergleichenden ipsi- und contralateral zum Reiz durchgeführten Registrierungen der von LEV und SOHMER (1972) und HUANG und BUCHWALD (1975) angegebenen Zuordnung widersprochen.

Er geht wie GALAMBOS (1981) davon aus, daß die Erregung axonaler Strukturen den BAEP zugrundeliegt. Das Verhalten bei binauraler gegenüber monauraler Stimulation sei jedoch nicht zu vereinbaren mit der Annahme einer Entstehung in Strukturen oberhalb des Lemniscus lateralis. Er kommt zum Ergebnis, daß die Generatoren für die Potentiale I - VI sämtlich unterhalb des Lemniscus lateralis liegen müssen, ein Beweis hierfür sei vor allem die stärkere und frühere Aktivierung der Generatoren der späteren Potentiale IV - VI bei ipsilateraler Stimulation. Als mögliche Strukturen nennt er Nucleus cochlearis und obere Olive, außerdem mehrere große Faserbündel, z.B. Corpus trapezoideum, bzw. mehrere dieser Strukturen in simultaner Aktivität.

Im Gegensatz hierzu fand JUNGERT (1958) bei intracraniellen Messungen im Tierexperiment eine deutlich verspätete Erregung im Bereich des Colliculus inferior bei ipsilateraler gegenüber contralateraler Stimulation.

Ebenfalls in Widerspruch zu den Ergebnissen von HUANG und BUCHWALD (1975) stehen Untersuchungen von ACHOR und STARR (1980). Sie führten extra- und intracranielle Messungen an Katzen durch. Es werden Analysen der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Spannungsfeldern vorgelegt, die im Anschluß an einen Clickreiz auftreten. In Übereinstimmung mit früheren Arbeiten wurde die erste Komponente P 1 einer einzigen Struktur, dem N. acusticus, zugeordnet. Die folgenden Komponenten P 2 - P 4 waren jedoch alle mit ausgeprägter Aktivität in mindestens 2 Regionen verbunden. Dabei waren bis Potential 4 die Colliculi inferiores nicht beteiligt.

Als weiteres wichtiges Ergebnis fanden die Autoren eine ausgeprägte interindividuelle Variabilität in der Ausbildung der Spannungsfelder. So hatten von 4 Katzen zur Zeit des Potentials 4 alle ein Dipolfeld im Bereich der oberen Olive. Bei einer Katze war der positive Betrag weit größer als der negative, bei einer Katze der negative weit größer

als der positive, bei zwei Katzen waren die Beträge etwa gleich. Es bestand keine Beziehung zwischen Betrag und Richtung des im Hirnstamm gemessenen Potentials und dem Betrag und der Polarität der an der Oberfläche abgebildeten Potentiale.

Im Rahmen von neurochirurgischen Eingriffen wurden von MÖLLER et al. (1981) simultane extra- und intracranielle Messungen am Menschen durchgeführt und mit vorher erfolgten Oberflächenregistrierungen in gebräuchlicher Versuchsanordnung verglichen. Dabei erfolgte die Reizung allerdings mit 5 ms dauernden 2000 Hz Tonimpulsen.

Sie gelangen zum Ergebnis, daß der Ursprung des Potentials II nicht im Nucleus cochlearis, sondern im intracraniellen Teil des N. acusticus liege und schließen daraus, daß Potential III im Nucleus cochlearis entsteht und die folgenden Potentiale in den späteren Hörbahnanteilen.

Es besteht somit bisher noch keine ausreichende Klarheit darüber, welche Strukturen das Hirnstammpotential an der Oberfläche hervorrufen.

Lediglich für Potential I ist eine Entstehung im N. acusticus unumstritten, für die späteren Potentiale wird ein Ursprung in verschiedenen Generatorstrukturen angenommen. Auf welche Weise diese zusammenwirken, wie die Aktivität dieser Generatoren letztlich zum Oberflächenpotential beiträgt, ist z.Zt. noch nicht geklärt, so z.B. die Frage, ob die synaptische Aktivität großer Kerngebiete oder Aktivität in den verbindenden Faserzügen die Potentiale hervorrufen.

Jede Diskussion über Hirnstammpotentiale ist daher in erster Linie Beschreibung des Verhaltens der gemessenen Potentiale, jeder Rückschluß auf zugrundeliegende neuronale Vorgänge nur mit diesen Einschränkungen möglich.

Ein Vergleich der Werte für die absoluten Latenzen mit den Ergebnissen anderer Autoren ist nur unvollkommen möglich, v.a. da die Reizintensitäten in unterschiedlicher Weise in dB SL, dB HL, dB peSPL und dB SPL angegeben werden.

Bild 18 zeigt die absoluten Latenzen bei 70 dB HL und Reizfrequenz 20/sec im Vergleich mit den jeweils ähnlichsten Reizbedingungen anderer Autoren. Es handelt sich jeweils um "Breitband"-Clicks mit unterschiedlichen Mittelfrequenzen, in wechselnder Polarität, mit der jeweils angegebenen Lautstärke.

THORNTON (1975), ZÖLLNER (1976) und SOHMER und PRATT (1976) unterscheiden nicht zwischen Potential IV und V, sondern geben einen Latenzwert für ein Potential 4 an. Die Werte für dieses Potential liegen bei größerer Streuung zwischen den Werten für die Potentiale IV und V. Aus der Darstellung geht hervor, daß die Unterschiede in den absoluten Latenzen bei ähnlichen Reizbedingungen innerhalb der verschiedenen Arbeitsgruppen außerordentlich gering sind. Wenn man sie mit den Latenzen der Antworten auf gefilterte "narrow band"-Clicks vergleicht, so entsprechen den Werten die Latenzen der Clicks mit Mittelfrequenz 2000 - 5000 Hz bei 60 dB (DON, EGGERMONT 1978).

Die relativen Interpeaklatenzen zeigen im Bereich höherer Intensitäten ebenfalls weitgehende Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Untersucher, eine Übersicht gibt Tabelle 22.

Die IPL liegen bei allen hier aufgeführten Untersuchern zwischen 3.95 ms und 4.2 ms für IPL (I - V), zwischen 1.95 und 2.3 für IPL (I - III) und zwischen 1.7 und 1.9 ms IPL (III - V).

STOCKARD et al. (1979) berichten ebenfalls über eine Abnahme der IPL (I - V) zwischen 70 - 30 dB SL von 4.02 ± 0.25 auf 3.68 ± 0.22 und einen weniger ausgeprägten Abfall der IPL (I - III).

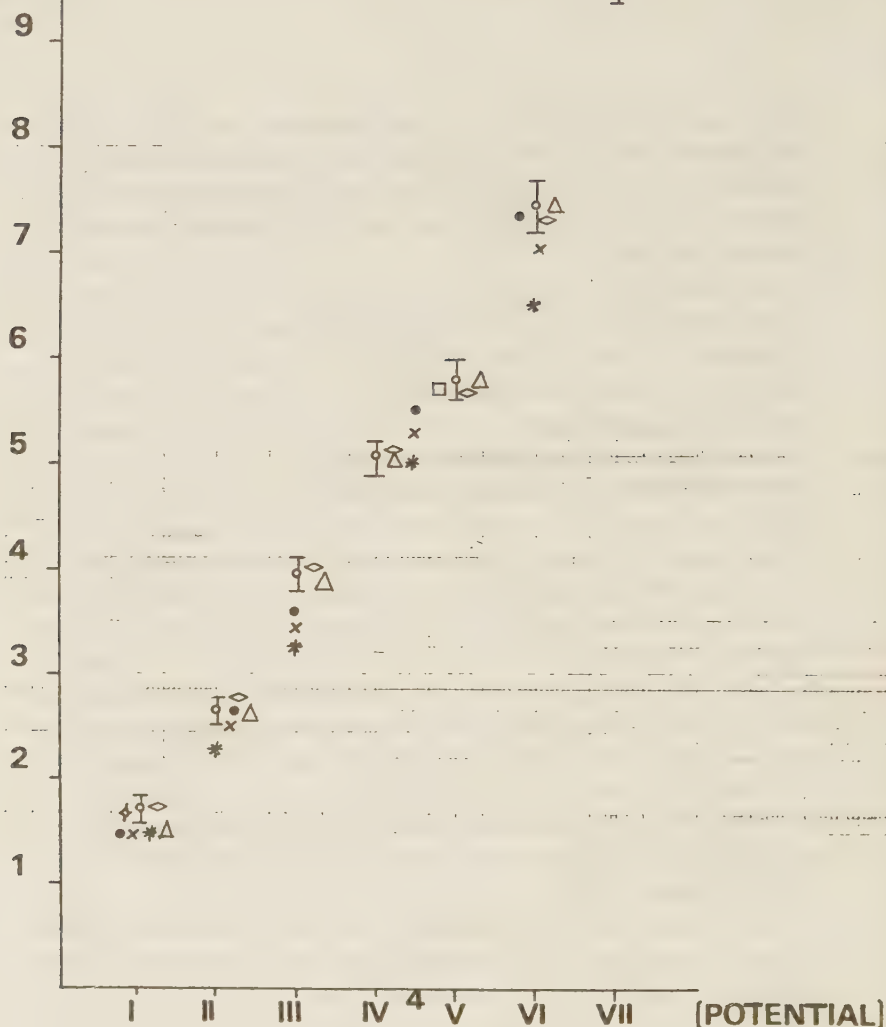


Bild 18 Vergleich der absoluten Latenzwerte der Potentiale I-VII des clickevozierten Hirnstammpotentials bei 70 dB HL mit den ähnlichsten Registrierungen anderer Autoren (angegeben sind jeweils Reizintensität, Reizfolgefrequenz und Filterung des abgeleiteten Signals).

Zeichenerklärung :

- diese Arbeit (70 dB HL, 20/s, 90-2000 Hz)
- × Zöllner (1976) (80 dB SPL, 10/s, 350-4000 Hz)
- * Pratt (1976) (70 dB HL, 10/s, 250-5000 Hz)
- ◇ Chiappa (1979) (60 dB SL, 10/s, 100-3000 Hz)
- Gerull (1977) (80 dB SL, 10/s, 50-1800 Hz)
- Thornton (1975) (70 dB SL, 10/s, 100-3000 Hz)
- △ Picton (1974) (60 dB SL, 10/s, 10-3000 Hz)
- ◊ Yoshie (1967) für N1 bei 80 dB (Electrocochleographie)

Tabelle 22

Zusammenstellung von IPL-Latenzen verschiedener Arbeitsgruppen

Autoren	IPL(I-V)	IPL(I-III)	IPL(III-V)	
STARR (1975)	4.0	2.3	1.8	(MS)
STOCKARD (1979)	4.02	1.95	1.73	
KLEIN (1978)	4.4			
CHIAPPA (1979)	4.0			
PICTON (1977)	4.1			
MOGENSEN (1979)	4.06	2.25	1.83	
UZIEL (1978)	4.05	2.18	1.90	
KJAER (1979)	4.05			
	4.23			
ROSSI (1979)	4.1		1.9	
SCHERG (1980)	4.0	2.16	1.84	

Die Daten sind in Bild 7 im Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit dargestellt. Dazu ist jedoch anzumerken, daß die Messungen von STOCKARD et al. mit unipolaren "Rarefaction" Clicks durchgeführt wurden. Demgegenüber sind in der Darstellung von PRATT und SOHMER (1976) keine Veränderungen der IPL (N 1 - N 4) über einen Bereich von 70 dB HL erkennbar.

HUANG und BUCHWALD registrierten "monotone" Latenz- und Amplitudenveränderungen für die Potentiale P 1 - P 5 der Katze mit veränderter Reizintensität. Da beide Autoren zwischen Potential IV und V nicht unterscheiden, ist ein echter Vergleich jedoch erschwert, ebenso gilt dies für THORNTON (1975) und ZÖLLNER et al. (1976). Es sind somit die Latenzwerte desto besser vergleichbar, je ähnlicher die Versuchsbedingungen gestaltet wurden. Sowohl die absoluten wie die relativen Latenzwerte sind abhängig von der Intensität des Reizes, die klinisch wichtige IPL (I - V) zeigt eine Tendenz zu kleineren Beträgen im Bereich niedriger Intensitäten.

Die späteren Potentiale VI und VII unterscheiden sich in der Latenzzunahme bei abnehmender Reizintensität deutlich von den früheren Potentialen des BAEP.

Deutlich wird dies beim Vergleich mit den Werten von STARR und ACHOR (1975), deren Versuchsanordnung hinsichtlich Reiz und Ableitungsbedingungen mit den Bedingungen in Versuchsanordnung B weitgehend übereinstimmen.

Hier ergeben sich sehr ähnliche absolute Latenzwerte, auch hier kommt deutlich ein flacherer Anstieg der Werte für Potential II zur Darstellung im Vergleich mit den übrigen frühen Potentialen, ebenso ein flacherer Verlauf für die Intensitätskurve der Potentiale VI und VII im Bereich höherer Intensitäten bei steilerem Anstieg im Bereich niedriger Intensitäten.

Die Veränderung der Amplituden von Potential V bei unterschiedlicher Reizintensität entspricht den Amplitudenwerten des von GERULL (1977) registrierten Hirnstammpotentials. Er beobachtet einen relativ flachen Verlauf von 40 dB SL bis 80 dB, bei steilem Anstieg ab der Hörschwelle.

PRATT und SOHMER fanden bei Messungen an Kindern mit Clicks steigender Intensität zwischen 5 und 70 dB HL einen linearen Anstieg des Potentials N 1 von 150 nV auf ca. 500 nV, hingegen einen wesentlich flacheren Anstieg für Potential N 2. Potential N 4 ist nicht vergleichbar, Potential N 5 zeigt gleiches Verhalten wie Potential VI in Versuchsanordnung A.

THORNTON (1975), dessen Registrierungen mit Versuchsanordnung A vergleichbar sind, gibt Werte an für Reizintensitäten von 60 - 90 dB SL. Er beschreibt einen steilen Anstieg der Amplituden von Potential N 1 bei gleichbleibenden Werten für Potential 2. Ebenfalls ähnlich das Verhalten von Potential N 5 mit wenig veränderten Werten zwischen 60 - 80 dB, bei allerdings absolut höheren Amplituden. Potential N 4 ist wegen unterschiedlicher Benennung wiederum nicht direkt vergleichbar, mit stetigem Anstieg von 60 - 90 dB SL verhält es sich jedoch anders als Potential V in den vorliegenden Messungen und ebenso besteht ein Unterschied zu dem Messungen von PRATT und SOHMER (1976).

WOLFE (1978) fand keine konstante Beziehung zwischen Intensität des Clickreizes und Amplitude der Potentiale mit Ausnahme des Potentials V. Für Welle V wurde eine Abflachung bei 40 - 60 dB SL und ein erneuter Anstieg bei 70 dB SL graphisch dargestellt, jedoch als linearer Anstieg interpretiert.

ZÖLLNER et al. (1976) berichten über Intensitätsabhängigkeit der Amplituden aller mit 1 - 5 bezeichneten Potentiale. Potential 4 entspricht dabei den Potentialen IV/V. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit Versuchsanordnung A, die Intensitätsangaben erfolgen jedoch in dB peSPL.

Bei Reizfolgefrequenzen von 5/sec und 10/sec ergeben sich sehr ähnliche Veränderungen für alle Potentiale im Vergleich mit Versuchsanordnung A.

Potential 4 zeigt deutliche Abflachung des Anstiegs bei 60 dB SPL, Potential 3 einen flachen Verlauf bei mittleren Intensitäten, Potential 1 einen stetigen Anstieg ohne Abflachung. Unterschiedlich sind dagegen die Werte für Potential 2 und 5 im Vergleich mit II und VI.

Die Variationskoeffizienten der Registrierungen liegen zwischen 10 und 40, soweit die Standardabweichungen der Amplitudenwerte angegeben werden.

SCHERG und SPEULDA (1980) geben für Clicks wechselnder Polarität eine mittlere Amplitude für Potential V von 309 ± 31 % bei einer Reizintensität von 70 dB HL an, und finden keinen Unterschied in den Amplituden bei 60, 65, 70 und 75 dB HL. Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Werten für Versuchsanordnung B im flachen Bereich oberhalb 50 dB HL.

Zusammenfassend läßt sich auch in Bezug auf die Amplitudenwerte feststellen, daß trotz der groß-en Variabilität der Amplitudenmesswerte die ermittelten Werte mit denen anderer Autoren übereinstimmen, und zwar umso mehr, je ähnlicher die zugrundeliegenden Versuchsbedingungen gestaltet waren.

Bei Betrachtung der Unterschiede zwischen den Ergebnissen in Versuchsanordnung A und B hinsichtlich der Latenz- und Amplitudenwerte müssen 2 Faktoren berücksichtigt werden, nämlich die unterschiedliche Einstellung des Frequenzbandes der ausgewerteten Antwort (250/2000 Hz in Versuchsanordnung A und 90/2000 Hz in Versuchsanordnung B) und die unterschiedlichen Reizfolgefrequenzen (6/sec in Versuchsanordnung A, 20/sec in Versuchsanordnung B).

Verschiedene Autoren haben Veränderungen des evozierten Hirnstammpotentials durch veränderte Filtereinstellungen und Filtertypen untersucht, u.a. von BOSTON et al. (1980), DOYLE et al. (1981), ELBERLING (1979), KEVANISHVILI (1979), LAUKLI et al. (1981).

Es herrscht weitgehende Übereinstimmung darin, daß bei einer Tiefpasseinstellung von mehr als 1600 Hz keine signifikanten Veränderungen in Latenz und Amplitude durch unterschiedliche Tiefpasseinstellungen hervorgerufen werden (BOSTON u. AINSLEE 1980).

Von wesentlich größerer Bedeutung sind die Veränderungen, die durch unterschiedliche Hochpasseinstellungen bewirkt werden.

KEVANISHVILI und APOCHENKO (1979) fanden bei digitaler Filterung und ansteigender Hochpasseinstellung von 28 - 500 Hz eine deutliche Verminderung der Amplituden aller beobachteten Potentiale I - VI, wobei diese Verminderung für die späteren Potentiale IV - VI ausgeprägter war als für die frühen Potentiale I - III. Die Differenz zwischen der Ableitung mit Hochpasseinstellung 100 Hz und 250 Hz betrug ca. 50 % des Ausgangswertes bei Hochpasseinstellung 28 Hz, für Potential VI lag diese Differenz bei ca. 70 %. Lediglich Potential II zeigte bei Hochpass 250 Hz einen um ca. 10 % größeren Betrag als bei Hochpass 100.

DOYLE und HYDE (1981) untersuchten den Einfluß einer unterschiedlichen Hochpassfilterung zwischen 20 Hz und 500 Hz mit Clicks von 70 dB HL. Sie fanden die Amplituden der Potentiale in verschiedener Weise verändert durch steigende Hochpassfrequenzen.

Potential I und V zeigten einen monotonen Abfall mit steigender Hochpassfrequenz, wobei dieser Abfall für Potential V wesentlich steiler verlief und der Amplitudenwert bei 500 Hz lediglich 5 % des Wertes bei 50 Hz betrug, gegenüber einem Abfall um 50 % bei Potential I.

Die Werte für Potential II fallen ab um ca. 50 % und haben ein Minimum bei 150 Hz Hochpasseinstellung, um dann erneut anzusteigen.

Potential III hat bis 200 Hz ansteigende Amplitudenwerte auf ca. 200 % des Ausgangswertes und erreicht ca. 100 % bei 500 Hz.

Potential IV verläuft nicht monoton mit ansteigender Tendenz. Potential VI ist in diesen Messungen erst ab einer Hochpasseinstellung von 150 Hz, dann aber mit relativ konstanter Amplitude bis 200 Hz nachweisbar.

Die Unterschiede zwischen den interessierenden Hochpasseinstellungen 100 und 250 Hz (Vergleichswert: 300 Hz) betragen für Potential I ca. - 25 %, für Potential II ca. + 100 %, für die Potentiale III und IV etwa gleiche Werte in beiden Einstellungen, für Potential V - 50 % des Wertes bei Hochpass 100 Hz.

In Übereinstimmung mit KEVANISHVILI ergeben sich somit deutlich kleinere Amplitudenwerte für die Potentiale I und V, deutlich größere Werte für Potential II.

Abweichend von KEVANISHVILI sind die Amplitudenwerte für Potential III und, soweit vergleichbar, Potential VI nicht verändert. Neben den Veränderungen der Amplituden resultiert aus der Anhebung der Hochpassfrequenz auch eine Abnahme der Latenzwerte, der Unterschied zwischen 100 und 300 Hz beträgt jedoch weniger als 0.05 ms (DOYLE und HYDE 1981).

Eine Veränderung der Reizfolgefrequenz führt ebenfalls zu Veränderungen der Amplituden und der Latenzwerte des BAEP. PRATT und SOHMER (1976) registrierten abnehmende Amplituden bei steigender Reizfrequenz, wobei diese Abnahme für Potential N 1 am stärksten ausgeprägt war.

Für Potential N 5 ergaben sich praktisch keine Unterschiede zwischen den Reizfolgefrequenzen 5/sec und 20/sec.

Im Gegensatz dazu waren die Latenzveränderungen bei den späteren Potentialen deutlicher:

Während die Latenz des Potentials N 1 unverändert blieb, zeigte sich Latenz der späteren Potentiale eine deutliche Verlängerung mit steigender Reizfrequenz.

ZÖLLNER et al. (1976) beschrieben ebenfalls abnehmende Amplituden und verlängerte Latenzen bei zunehmender Reizfrequenz, wobei beide Effekte stärker ausgeprägt waren bei Reizintensitäten oberhalb 80 dB. Die Latenzveränderungen waren stärker ausgeprägt bei den späteren Potentialen.

Beim Vergleich der Ergebnisse aus Messungen in Versuchsanordnung A und B heben sich diese Effekte zum Teil auf. Für Potential I wird der Effekt der veränderten Filtereinstellung, der zu einer Verminderung der Amplitude führt, im Bereich höherer Intensitäten ausgeglichen durch eine Zunahme aufgrund geringerer Reizfrequenz. Potential V, das auf eine Steigerung der Reizfolgefrequenz weniger empfindlich reagiert (ZÖLLNER), zeigt durchgehend kleinere Amplitudenwerte bei höherer Hochpasseinstellung.

Die Werte für Potential III liegen in beiden Versuchsanordnungen in ähnlichem Bereich.

Eine deutliche Abweichung von den Ergebnissen der angeführten Arbeiten ergibt sich für Potential II, das in Versuchsanordnung A deutlich kleinere Werte aufweist.

Die Latenzverlängerungen der Potentiale I - V stehen in Übereinstimmung mit den angeführten Arbeiten als Effekt einer höheren Reizfolgefrequenz, wobei dieser Unterschied wie bei ZÖLLNER (1976) für Potential I und II am geringsten ist.

Für Potential VI war bei höherer Grenzfrequenz des Hochpasses eine deutliche Verminderung der Amplitudenwerte zu erwarten. Im Gegensatz dazu waren die registrierten Amplitudenwerte im Bereich mittlerer Intensitäten höher, im Bereich höherer Intensitäten etwa gleich den Werten bei niedriger Grenzfrequenz.

Auch die Latenzen zeigten ein von den früheren Potentialen abweichendes Verhalten mit längeren Latenzen für niedrigere Reizfolgefrequenz im mittleren Intensitätsbereich.

Potential VII unterscheidet sich in seinem Verhalten ebenfalls deutlich von den früheren Potentialen. Die Amplituden steigen bei Reizung mit 6/sec steil an und zeigen noch keine Adaptation bei 70 dB, bei Reizfolgefrequenzen von 20/sec nehmen die Amplitudenwerte oberhalb von 50 dB kaum noch zu und sind bereits weitgehend

adaptiert. Ähnlich verhalten sich die Latenzwerte mit weitgehender Adaptation bei 40 dB für Reizung mit 20/sec gegenüber 60 dB bei Reizung mit 6/sec.

In Zusammenschau mit tierexperimentellen Daten (SPRENG et al. 1982) liegt eine mögliche Erklärung für das abweichende Verhalten der späteren Potentiale darin, daß sie durch Aktivität von Generatorstrukturen hervorgerufen werden, die einem zweiten System der Hörbahn angehören. Neben den schnellen Verbindungen des N. cochlearis dorsalis über den ~~contralateralen~~ Lemniscus lateralis zum Colliculus inferior existiert noch eine langsamere Verbindung zum ipsilateralen Colliculus inferior.

Hervorgerufen wird diese Verzögerung durch eine zusätzliche Synapse im ipsilateralen Lemniscus lateralis, die ebenfalls verantwortlich sein könnte für das unterschiedliche Adaptationsverhalten der Potentiale VI und VII.

Verschiedene Autoren haben aus Untersuchungen an großen Kollektiven von Normalhörenden die für die klinische Anwendung von akustisch evozierten Hirnstammpotentialen notwendigen Normalwerte errechnet, um die Einflüsse inter- und intrasubjektiver Variabilität bei Normalhörenden von pathologischen Veränderungen abzugrenzen.

Ziel des Kapitels 3.2. war es, die innerhalb dieser Grenzen bestehende intra- und intersubjektive Variabilität näher zu untersuchen.

Die durchgeführten Untersuchungen haben bestätigt, daß bei Anwendung einer üblichen Ableitetechnik ausgeprägte intersubjektive Unterschiede bestehen hinsichtlich der charakterisierenden Eigenschaften Amplitude, relative und absolute Latenz der Hirnstammpotentiale.

Intersubjektiv variieren die Mittelwerte der Amplituden für die Potentiale I und III um bis zu 100 %, für Potential V um bis zu 65 %.

Im Bereich der Latenzwerte variieren die Mittelwerte der absoluten Latenzen intersubjektiv in der Größenordnung

von 0.4 - 0.5 ms, die Unterschiede zwischen Einzelmessungen verschiedener Versuchspersonen können dabei bis zu 1.0 ms betragen. Die Variabilität der relativen IPL (I - V) liegt mit ca. 0.5 ms für Mittelwerte in der gleichen Größenordnung.

Andere Autoren, die Messdaten getrennt nach Versuchspersonen veröffentlichen, kommen zu ähnlichen Ergebnissen. DOYLE und HYDE (1981) geben Latenzwerte für Potential I bei 5 verschiedenen Versuchspersonen, die Spanne der Mittelwerte reicht dabei von 1.55 bis 1.85 ms. Die gemessenen Amplitudenwerte für Potential V variieren um mehr als 100 % bei einer Hochpassgrenzfrequenz von 100 Hz. Ähnlich ist die Spanne bei EDWARDS et al. (1982) im Bereich der Latenzwerte bei 10 verschiedenen Versuchspersonen. Für Potential I reicht die Spanne der Mittelwerte bei 72 dB Reizintensität von 1.65 bis 1.95, für Potential II von 2.84 bis 3.18, für Potential III von 3.83 bis 4.15, für Potential V von 5.76 bis 5.94 ms. Abweichungen zwischen den Mittelwerten zweier zeitlich getrennter Registrierungen waren statistisch nicht signifikant. Die einzelnen Messerte der Versuchspersonen streuten in einem Bereich von ca. 0.5 ms. Es werden keine absoluten Amplitudenwerte angegeben, das Verhältnis Amplitude Potential I/Amplitude Potential V variiert intersubjektiv von 0.6 bis 1.6, bleibt intrasubjektiv bei zeitlich getrennten Registrierungen jedoch wesentlich konstanter.

Das akustisch evozierte Hirnstammpotential ist somit innerhalb der Grenzen der Normalwerte eine für jede Versuchsperson charakteristische Kombination aus relativen und absoluten Latenz- und Amplitudenwerten, die bei wiederholter Messung eine intrasubjektive Streuung aufweisen, die geringer ist als die intersubjektive Streuung.

Als mögliche Ursache für die Ausbildung eines individuellen Hirnstammpotentials bieten sich an eine verschiedene Abbildung gleichartiger Verarbeitungsvorgänge oder Unterschiede in der Reizverarbeitung. ACHOR und STARR (1980) haben bei intracraniellen Messungen an der Katze festgestellt, daß nach Clickreiz auftretende, von identischen intracraniellen Lokalisationen abgeleitete Dipolfelder gleicher Latenz bei verschiedenen Katzen sehr unterschiedlich sind, daß je nach Versuchstier der positive Pol oder der negative Pol stärker ausgeprägt war, bzw. beide Pole in gleicher Größe zur Darstellung kamen.

Unterschiedliche räumliche Distanzen zwischen den Generatorstrukturen könnten von Bedeutung sein und wurden als mögliche Ursache für die von verschiedenen Autoren festgestellten Unterschiede zwischen den Latenzwerten männlicher und weiblicher Versuchspersonen angeführt. STOCKARD (1978) fand allerdings keine Unterschiede in den äußeren Schädelmaßen zwischen einer Gruppe männlicher und weiblicher Versuchspersonen mit unterschiedlichen Latenzwerten. Es bleiben jedoch eine ganze Reihe schwer meßbarer Faktoren wie unterschiedliche Dicke der Schädeldecke, Dicke des Weichteilmantels, Hirngröße und Durchblutung der Kopfhaut, die einen Einfluß auf die Abbildung der evozierten Hirnstammpotentiale haben.

Eine andere Art von Reizverarbeitung könnte bedeuten, daß intersubjektive Unterschiede in der Geschwindigkeit der Reizverarbeitung und in der Leitungsgeschwindigkeit zwischen den Generatorstrukturen bestehen.

Die Frage, ob eine längere Lärmbeschallung einen Einfluß auf die im Anschluß registrierten Hirnstammpotentiale hat, läßt sich aufgrund der vorliegenden Arbeit nicht mit Sicherheit beantworten.

In Übereinstimmung mit den parallel in gleicher Versuchsanordnung im Rahmen eines "Joint European Research Project" durchgeführten Messungen von ROSSI (1980) bestehen keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten der Latenz- und Amplitudenwerte vor und nach Lärm.

In Anbetracht der beträchtlichen inter- und intrasubjektiven Unterschiede müssen jedoch kleinere Veränderungen, und nur solche wären in dieser Versuchsanordnung zu erwarten, bei Mittelung über mehrere Versuchspersonen in der allgemeinen Variabilität untergehen. Die angewandten Vergleiche zwischen den Werten einzelner Versuchspersonen ergeben im Gegensatz zum Vergleich der Mittelwerte zumindest einen Trend zu leicht verlängerten Latenzwerten und leicht verminderten Amplituden bei Registrierung nach Lärmbeschallung.

Diese Veränderungen sind im Falle der Latenzen deutlicher ausgeprägt für die Potentiale III und V, bei Betrachtung der Amplitudenwerte für Potential III.

Zur Klärung dieser Frage sind jedoch weitere, über diese Pilotstudie hinausgehende Untersuchungen, insbesondere mit wiederholten Messungen an der gleichen Versuchsperson, notwendig.

Zusammenfassung

Für diese Arbeit wurden akustisch evozierte Hirnstamm-potentiale nach Clickreiz von insgesamt 10 gesunden Versuchspersonen in zwei Versuchsanordnungen registriert. Die Potentiale sind charakterisiert durch die Eigenschaften Amplitude, absolute Latenz nach Reiz und relative Interpeak-Latenz. Alle Potentiale zeigen typische Veränderungen dieser Eigenschaften bei unterschiedlichen Intensitäten des Clickreizes und in Abhängigkeit von der Filterung des ausgewerteten EEG-Signals.

Auch für die relativen Interpeak Latenzen ergaben sich deutliche Veränderungen mit wechselnder Reizintensität. Die späteren Potentiale VI und VII zeigen ein von den früheren Potentialen unterschiedliches Adaptationsverhalten.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung der so bestimmten Normalwerte mit Registrierungen in vergleichbarer Versuchsanordnung an Normalpersonen.

Es wurden an einer Gruppe von 8 Versuchspersonen je 20 Messungen unter konstanten Bedingungen durchgeführt, um die inter- und intrasubjektive Variabilität innerhalb der Grenzen der Normalwerte genauer zu definieren. Für jede Versuchsperson ergab sich eine charakteristische Kombination der Eigenschaften Amplitude, absolute und relative Latenz der drei Potentiale I, III und V. Diese Eigenschaften sind voneinander unabhängig und führen für jede Versuchsperson zu einem individuellen Hirnstammpotential in den Grenzen der Normalwerte, die inter- und intrasubjektiv auftretenden Streuungen der Messwerte werden diskutiert und mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen.

Im Rahmen einer Pilotstudie für ein gemeinsames Projekt mehrerer europäischer Laboratorien wurde eine mögliche Beeinflussung der Hirnstammpotentiale durch Einwirkung von Lärm unterschiedlicher Art untersucht. Die Verände-

rungen der im Anschluß an Lärmbeschallung registrierten Hirnstammpotentiale im Vergleich zu den Registrierungen vor Lärmbeschallung waren statistisch nicht signifikant, es ergab sich jedoch ein Trend zu geringfügig längeren Latenzwerten und kleineren Amplitudenwerten nach Lärmbeschallung beim Vergleich der Werte der einzelnen Versuchspersonen unter Ausschaltung der intersubjektiven Variabilität. Diese Veränderungen sind im Bereich der Latenzen deutlicher ausgeprägt bei den Potentialen III und V, für die Amplitudenwerte bei Potential III.

6. Literatur

ACHOR, L.J.; STARR, A.:

Auditory Brainstem Responses in the Cat

I. Intracranial and Extracranial Recordings

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 48 (1980) 154 - 173

AINSLEE, P.J.; BOSTON, J.R.:

Comparison of Brainstem Auditory Evoked Potentials
for Monaural and Binaural Stimuli

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 49 (1980) 291 - 302

ALLEN, A.A.; STARR, A.

Auditory Brainstem Potentials in Monkey and Man

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 45 (1978) 53 - 63

ARMITAGE, P.:

Statistical Method in Medical Research

4. Aufl., Oxford 1973

v. BÉKESY, G.:

Some Electromechanical Properties of the Organ of
Corti

Ann. Otol. 63 (1954) 448

BOSTON, J.R.; AINSLEE, P.J.:

Effects of Analog and Digital Filtering on Brainstem
Auditory Evoked Potentials

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 48 (1980) 361 - 364

CAMPBELL, R.C.:

Statistische Methoden für Biologie und Medizin

Stuttgart 1971

CAZALS, V.; BORIES, V.; ARAN, J.M.:

Some Uncertainties in Scalp Recordings of Brainstem
Auditory Potentials in Monkey and Man

Revue de Laryngology 99 (1978) 663 - 679

CHIAPPA, K.H.; GLADSTONE, K.J.; YOUNG, R.R.:
Brainstem Auditory Evoked Responses
Studies of Waveform Variations in 50 Normal Human
Subjects
Arch. Neurol. 36 (1979) 81 - 87

DAVIS, H.:
Classes of Auditory Evoked Responses
Audiology 12 (1973) 464 - 469

DOBIE, R.A.; NORTON, S.J.:
Binaural Interaction in Human Auditory Evoked
Potentials.
Electroenc. Clin. Neurophysiol. 49 (1980) 303 - 313

DON, M.; EGGERMONT, J.J.:
Analysis of the Click-Evoked Brainstem Potential
in Man Using High-Pass Noise Masking
A. Acoust. Soc. Am. 63 (1978) 1084 - 1091

DOYLE, D.J.; HYDE, M.L.:
Analogue and Digital Filtering of Auditory
Brainstem Responses
Scand. Audiology 10 (1981) 81 - 89

EDWARDS, R.M.; BUCHWALD, J.S.; TANGUAY, P.E.;
SCHWAFEL, J.A.:
Sources of Variability in Auditory Brainstem Evoked
Potential Measures over Time
Electroenc. Clin. Neurophysiol. 53 (1982) 125 - 132

GEISLER, C.D.; FRISHKOPF, L.S.; BROWN, R.M.:
The Early Response to Clicks in Awake Subjects
Quart. Progr. Rep. MIT, Cambridge, Mass.
Jul. 15 (1957) 144 - 148

ELBERLING, C.:

Auditory Electrophysiology: Spectral Analysis
of Cochlear and Brainstem Evoked Potentials
Scand. Audiology 8 (1979) 57 - 64

HOKE, M.:

Grundlagen und diagnostische Möglichkeiten der
ERA (Electric Response Audiometry)
akt. neurol. 6 (1979) 53 - 70

JEWETT, D.L.:

Volume-Conducted Potentials in Response to
Auditory Stimulus as Detected by Averaging
in the Cat
Electroenc. Clin. Neurophysiol. 28 (1970) 609 - 618

JEWETT, D.L.; WILLISTON, J.S.:

Auditory Evoked Far Fields Averaged from the
Scalp of Humans
Brain 94 (1971) 681 - 690

JUNGERT, St.:

Auditory Pathways in the Brainstem
Acta Oto-Laryng. (Stockh.) Suppl. 138 (1958)

KALLERT, S.:

Einzelzellverhalten
in: Physiologie des Gehörs, Stuttgart 1975

KEIDEL, W.D.; SPRENG, M.:

Neurophysiological Evidence for the Stevens
Power Function in Man
J. Acoust.Soc.Amer. 38 (1965) 191 - 195

KEIDEL, W.D.:

Allgemeine Informationsphysiologie der zentralen
Hörbahn
in: Physiologie des Gehörs, Stuttgart 1975

KEVANISHVILI, Z.; APOCHENKO, V.:

Frequency Composition of Brainstem Auditory
Evoked Potentials

Scand. Audiology 8 (1979) 51 - 55

KEVANISHVILI, Z.:

Sources of the Human Brainstem Auditory Evoked
Potential

Scand. Audiology 9 (1980) 75 - 82

KEVANISHVILI, Z.; APOCHENKO, V.:

Click polarity Inversion Effects upon the Human
Brainstem Auditory Evoked Potential

Scand. Audiology 10 (1981) 141 - 147

KJAER, M.:

Differences of Latencies and Amplitudes of Brainstem
Evoked Potentials in Subgroups of a Normal Material

Acta Neurol. Scandinav. 59 (1979) 72 - 79

KLEIN, A.J.; TEAS, D.C.:

Acoustically Dependent Latency Shifts of
BSER (wave V) in Man

J. Acoust. Soc. Amer. 63 (1978) 1887 - 1895

LAUKLI, E.; MAIR, I.W.S.:

Early Auditory Evoked Responses: Filter Effects
Audiology 20 (1981) 300 - 312

LAUKLI, E.; MAIR, I.W.S.:

Early Auditory Evoked Responses: Spectral Content
Audiology 20 (1981) 453 - 464

LEV, A.; SCHMER, H.:

Sources of Averaged Neural Responses Recorded in
Animal and Human Subjects During Cochlear Audiometry
(Electrocochleography)

Arch.Klin.exp.Ohr,Nas. und Kehlk.-Heilk. 201 (1972) 79 - 80

MAIR, I.W.S., ELVERLAND, H.H.; LAUKLI, E.:
Development of Early Auditory Evoked Responses in
the Cat
Audiology 17 (1978) 469 - 488

MAIR, I.W.S.; ELVERLAND, H.H.; LAUKLI, E.:
Early Auditory Evoked Responses in the Cat:
Rate Effects
Audiology 18 (1979) 265 - 278

MC LELLAND, R.J.; MC CREA, R.S.:
Intersubject Variability of the Auditory Evoked
Brainstem Potentials
Audiology 18 (1979) 462 - 471

MICHALEWSKI, H.J.; THOMPSON, L.W.; PATTERSON, J.V.,
BOWMAN, T.E.; LITZELMAN, D.:
Sex Differences in the Amplitudes and Latencies of
the Human Auditory, Brainstem Potential
Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 48 (1980) 351 - 356

MOGENSEN, F.; KRISTENSEN, O.:
Auditory Double Click Evoked Potentials in
Multiple Sclerosis
Acta neurol. scandinav. 59 (1979) 96 - 107

MOLLER, A.R.; JANETTA, P.; BENNETT, M.; MOLLER, M.B.:
Intracranially Recorded Responses from the Human
Auditory Nerve: New Insights into the Origin of
Brainstem Evoked Potentials (BSEPs)
Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 52 (1981) 18 - 27

van OLPHIEN, A.F.; RODENBURG, M.; VERWEY, C.:
Distribution of Brainstem Responses to Acoustic Stimuli
over the Human Scalp
Audiology 17 (1978) 511 - 518

ORNITZ, E.M.; MO, A.; OLSON, S.T.; WALTER, D.O.:
Influence of Click Sound Pressure Direction on
Brainstem Responses in Children
Audiology 19 (1980) 245 - 254

PICTON, T.W.; HILYARD, S.A.; KRAUSZ, H.I.; GALAMBOS, R.:
Human Auditory Evoked Potentials.
I: Evaluation of Components
Electroenc. Clin. Neurophysiol. 36 (1974) 179 - 190

PICTON, T.W.; WOODS, D.L.; BARIBEAU-BRAUN, J.;
HEALEY, T.M.G.:
Evoked Potential Audiometry
The Journal of Otolaryngology 6:2 (1977) 90 - 119

PRATT, H.; SOHMER, H.:
Intensity and Rate Function of Cochlear and
Brainstem Evoked Responses to Click Stimuli in
Man
Arch. Oto-Rhino-Laryng. 212 (1976) 85 - 92

RANKE, O.F.:
Rhysiologie des Gehörs
In: Gehör, Stimme, Sprache
Hrsg. von O.F. Ranke, H. Lulies
Springer, Berlin 1953

ROSSI, G.; SOLERO, P.:
Brainstem Electric Response Audiometry
Acta Oto-Laryngologica Suppl. 364 (1979)

ROSSI, G.:
Final Report Physiological Effects of Impulsive
Noises
University of Turin, Dept. of Audiology 1981

ROWE, M.J.:

Normal Variability of the Brainstem Auditory Evoked
Response in Young and Old Adult Subjects

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 44 (1978) 459 - 470

SACHS

Angewandte Statistik

4. Aufl.

Berlin-Heidelberg-New York 1974

SOHMER, H.; FEINMESSER, M.:

Cochlear Action Potentials recorded from the External
Ear in Man

Ann. Otol. 76 (1967) 427

SOHMER, H.; FEINMESSER, M.; SZABO, G.:

Sources of Electrocochleographic Responses as
Studied in Patients with Brain Damage

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 37 (1974) 663 - 669

SOHMER, H.; GAFNI, M.; CHISIN, R.:

Auditory Nerve and Brainstem Responses

Comparison in Awake and Unconscious Subjects

Arch. Neurol. 35 (1978) 228 - 230

SCHMER, H. Student:

Auditory Nerve and Brainstem Evoked Responses
in Normal, Autistic, Minimal Brain Dysfunction
and Psychomotor Retarded Children

Electroenc. Clin. Neurophysiol. 44 (1978) 380 - 388

SPRENG, M.; KEIDEL, W.D.:

Separierung von Cerebroaudiogramm (CAG),
Neuroaudiogramm (NAG) und Otoaudiogramm (OAG)
in der objektiven Audiometrie

Arch.Klin.Exper. Ohren-Nasen-Kehlkopf Heild.

189 (1967) 225 - 246

SPRENG, M.:

Mechanisch-Elektrische Wandlung, Sinneszellfunktion
in: Physiologie des Gehörs, Stuttgart 1975

SPRENG, M.:

Langsame Rindenpotentiale, objektive Audiometrie und
Psychoakustik
in: Physiologie des Gehörs, Stuttgart 1975

SPRENG, M.:

Comparison of Effects of Impulsive Noise
and Continuous Noise Using Objektive Physiological
Parameters - Results of a Pilot Study
Dept. Physiol. & Biocyb., Erlangen (1981)

SPRENG, M.; KALLERT, S.; NEUDECK, T.:

Remarks concerning Early and Late Auditory
Evoked Potentials in Differential and Topo-Diagnosis
II. Amplaid International Workshop and Symposium
on Evoked Potentials
Mailand, 1982

STARR, A.; ACHOR, L.J.:

Auditory Brainstem Responses in Neurological
Disease
Arch. Neurol. 32 (1975) 761 - 768

STARR, A.:

Auditory Brainstem Responses in Brain Death
Brain 99 (1976) 543 - 554

STECKER, M.:

Einfluß der Click-Flankensteilheit auf die
frühen Reizantworten des Hörsystems
Arch. Oto-Rhino-Laryng. 206 (1974) 225 - 234

STEVENS, S.S.:

The Psychophysics of Sensory Function

In: Sensory Communication

hrsg. von W.A. Rosenblith. Wiley, New York 1961

STOCKARD, J.J.; STOCKARD, J.E.; SHARBROUGH, F.W.:

Nonpathologic Factors Influencing Brainstem

Auditory Evoked Potentials

Am.J.EEG Technol. 18 (1978) 177 - 209

STOCKARD, J.E.; STOCKARD, J.J.; WESTMORELAND, B.F.;

CORFITS, J.L.:

Brainstem Auditory Evoked Responses

Normal Variation as a Function of Stimulus and

Subject Characteristics

Arch.Neurol. 36 (1979) 823 - 831

TERKILDSEN, K.; OSTERHAMMEL, P.; HUIS in't VELD, F.:

Farfield Electrocochleography. Electrode Positions

Scand. Audiol. 3 (1974) 123 - 129

TERKILDSEN, K.; OSTERHAMMEL, P.; HUIS in't VELD, F.:

Farfield Electrocochleography. Adaptation

Scand. Audiology 4 (1975) 215 - 220

THORNTON, A.R.D.:

The Measurement of Surface-Recorded Electrocochleographic Responses

Scand.Audiol. 4 (1975) 51 - 58

THORNTON, A.R.D.:

Statistical Properties of Surface-Recorded

Electrocochleographic Responses

Scand.Audiol. 4 (1975) 91 - 102

THORNTON, A.R.D.:

Bilaterally Recorded Early Acoustic Responses
Scand. Audiol. 4 (1975) 173 - 181

THORNTON, A.R.D.:

Electrophysiological Studies of the Auditory System
Audiology 15 (1976) 23 - 38

UZIEL, A.; BENEZECH, J.:

Auditory Brainstem Responses in comatose Patients:
Relationship with Brainstem Reflexes and Levels of Coma
Electroenc. Clin. Neurophysiol. 45 (1978) 515 - 524

WEBER, B.A.; SEITZ, M.R.; MC CUTCHEON, M.J.:

Quantifying Click Stimuli in Auditory Brainstem
Response Audiometry
Ear and Hearing 2 (1981) 15 - 19 Balt., Mass.

WOLF, W.:

Statistik Bd. 1
Weinheim u. Basel 1974

WOLFE, J.A.; SKINNER, P.; BURNS, J.:

Relation between Sound Intensity and the Latency and
Amplitude of the Brainstem Auditory Evoked Potential
Journal of Speech and Hearing Research 21 (1978) 401 - 407

YOSHIE, N.; OHASHI, T.:

Non-Surgical Recordings of Auditory Nerve Action
Potential in Man
Laryngoscope 77 (1967) 76 - 85

ZÖLLNER, Chr.; KARNAHL, Th.; STANGE, G.:

Input-Output Function and Adaptation Behaviour
of the Five Early Potentials Registered with the
Earlobe-Vertex Pick-Up
Arch. Oto-Rhino-Laryng. 212 (1976) 23 - 33

Anhang

Die Berechnungen der Mittelwerte und Standardabweichungen wurden mit einem Taschenrechner mit statistischem Zusatzprogramm unter Verwendung folgender Formeln durchgeführt:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Mittelwert

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

Standardabweichung
von Messwerten

$$s' = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Standardabweichung von Mittelwerten

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

Variationskoeffizient:

Bild A 1

Verteilung der absoluten Latenzwerte für das Potential I des click-evozierten Hirnstammpotentials (80 dB HL, 20/s) in Klassen zu 0.05 ms, registriert im Anschluß an die Lärmsituationen I-V, getrennt nach Versuchspersonen.

Zeichenerklärung:

- Lärmsituation I (Weisses Rauschen)
- * Lärmsituation II (Bursts aus Weisses Rauschen)
- × Lärmsituation III (Stille)
- ◇ Lärmsituation IV (Impuls-lärm regelmäßig)
- Lärmsituation V (Impuls-lärm unregelmäßig)

(SUB.)

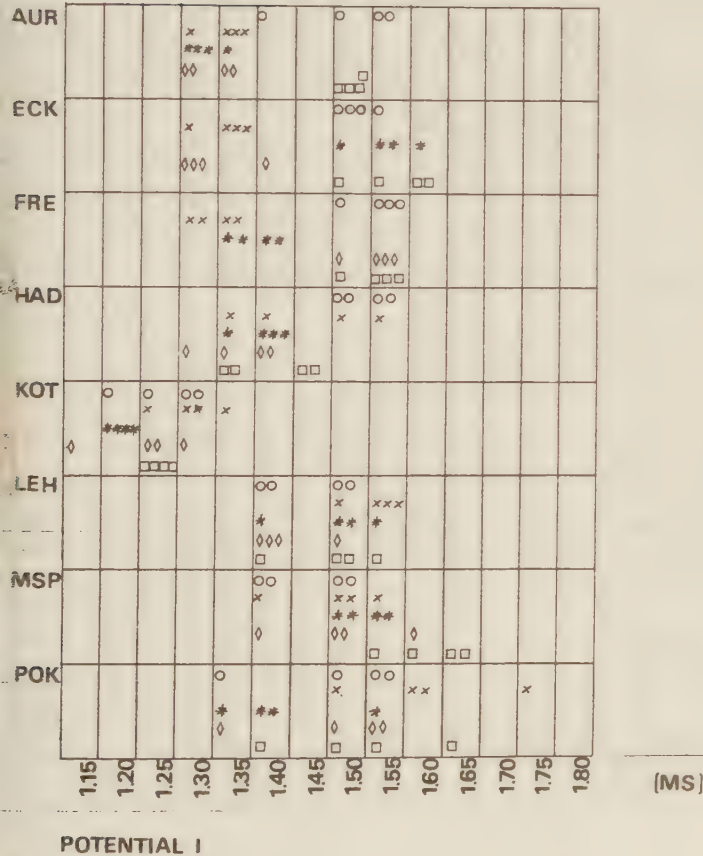
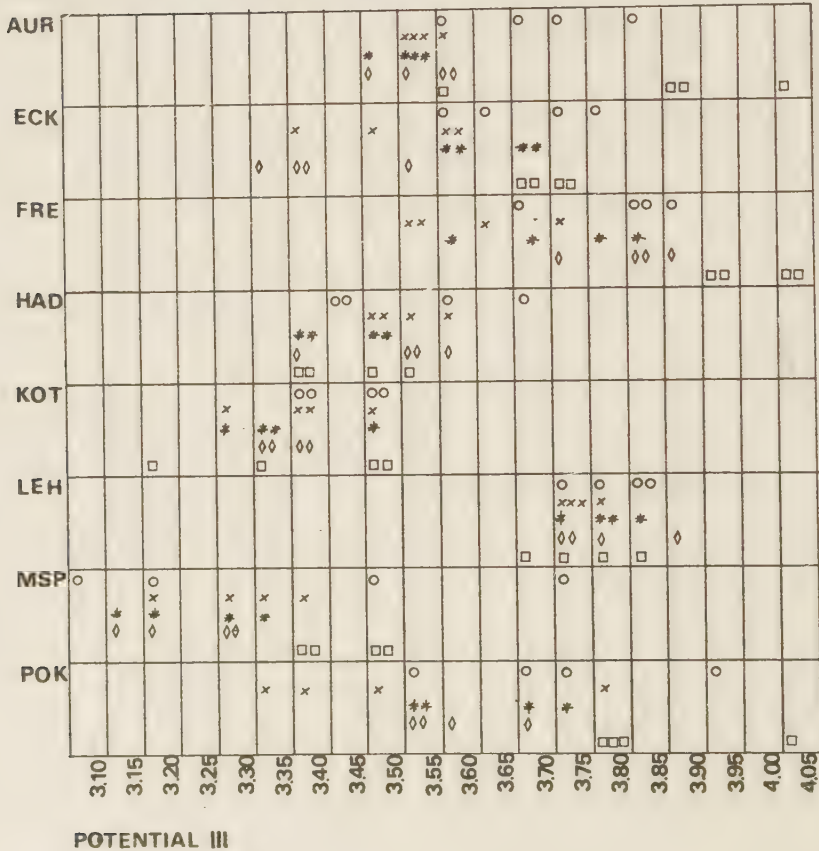


Bild A 2

Verteilung der absoluten Latenzwerte für das Potential III des click-
evozierten Hirnstammpotentials (80 dB HL, 20/s) in Klassen zu 0.05 ms,
registriert im Anschluß an die Lärmsituationen I-V, getrennt nach
Versuchspersonen.

Zeichenerklärung s. Bild A 1

(SUB.)



[MS]

POTENTIAL III

Bild A 3

Verteilung der absoluten Latenzwerte für das Potential V des click-evozierten Hirnstammpotentials (80 dB HL, 20/s) in Klassen zu 0.05 ms, registriert im Anschluß an die Lärmsituationen I-V, getrennt nach Versuchspersonen.

Zeichenerklärung s. Bild A 1.

[SUB.]

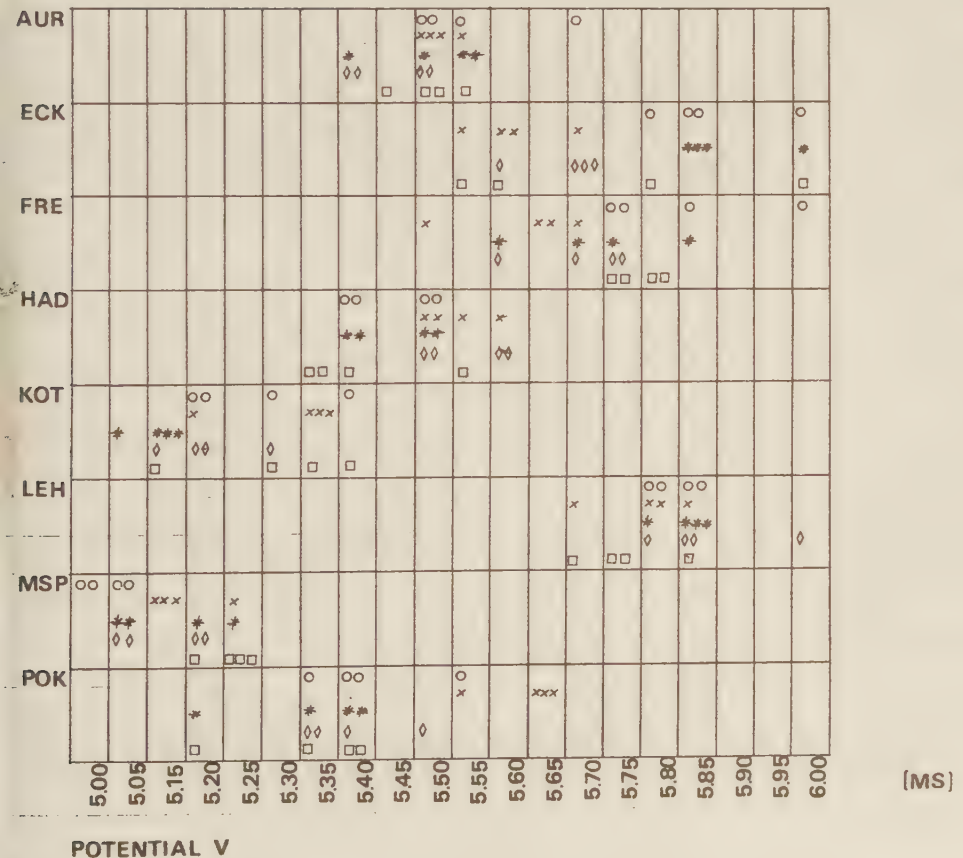
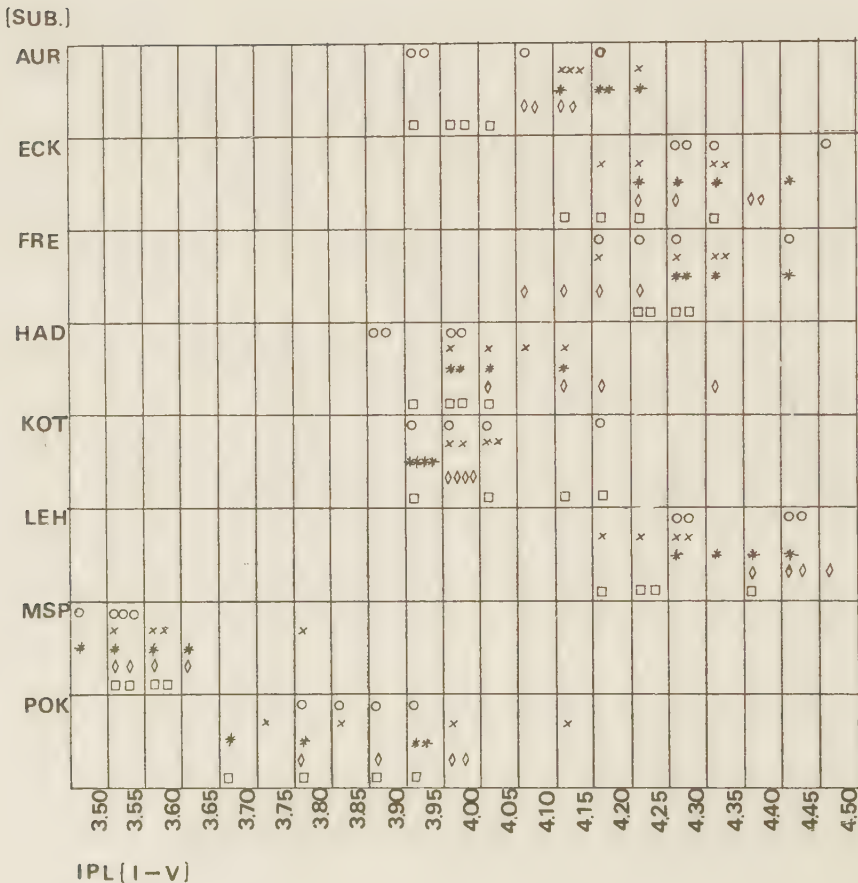


Bild A 4

Verteilung der relativen Latenzwerte IPL(I-V) des clickevozierten Hirnstammpotentials (80 dB HL, 20/s) in Klassen zu 0.05 ms, registriert im Anschluß an die Lärmsituationen I-V, getrennt nach Versuchspersonen. Zeichenerklärung s. Bild A 1.



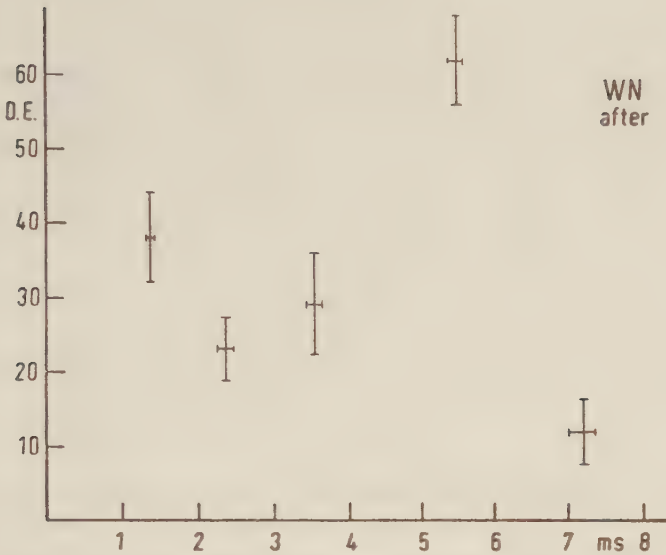


Bild A 6 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A,B,C,D nach Lärmbeschallung. Lärmsituation : I (Weisses Rauschen) (to D.E. = 82.5 nV)

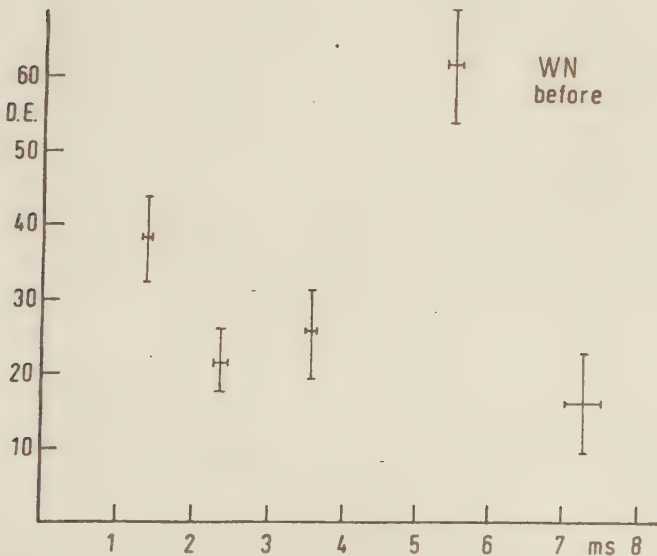


Bild A 5 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor Lärmbeschallung. Lärmsituation: I (Weisses Rauschen)

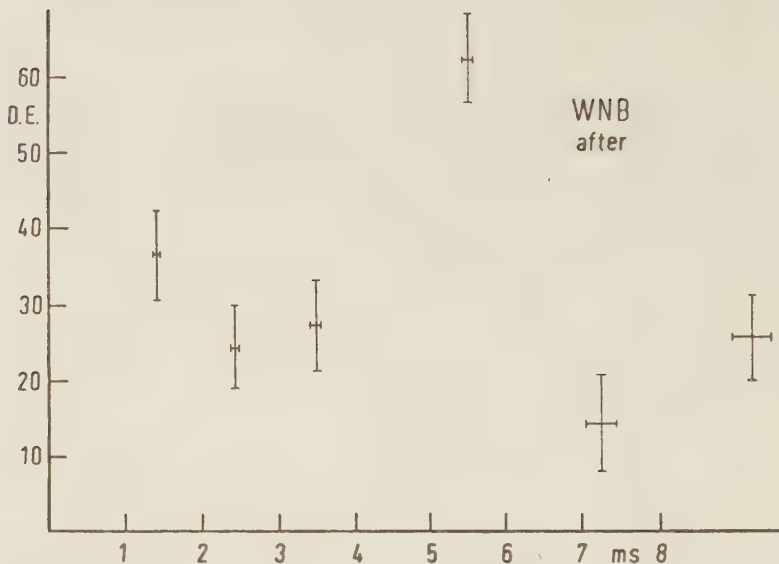


Bild A 8 Mittelwerte($\pm s$) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A,B,C,D nach Lärmbeschallung. Lärmsituation: II(Bursts aus Weisses Rauschen) (10 D.E. = 82.5 nV)

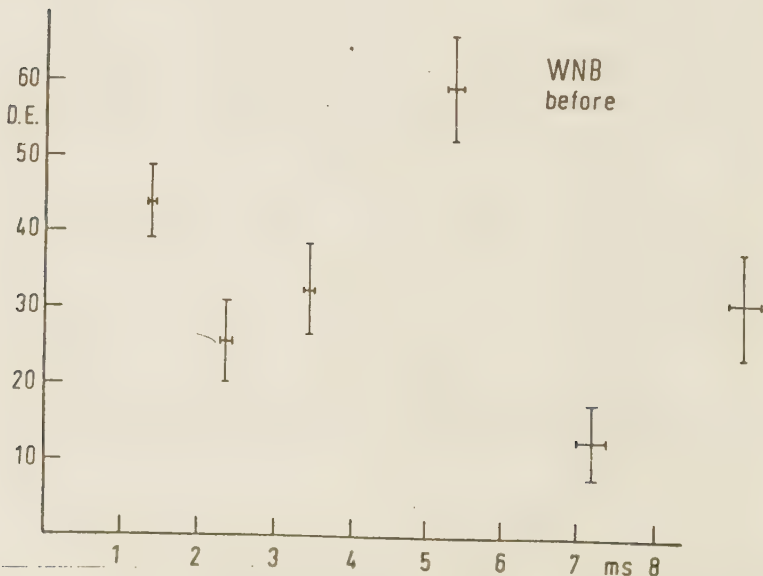


Bild A 7 Mittelwerte($\pm s$) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor Lärmbeschallung. Lärmsituation : II(Bursts aus Weisses Rauschen) (10 D.E. = 82.5 nV)

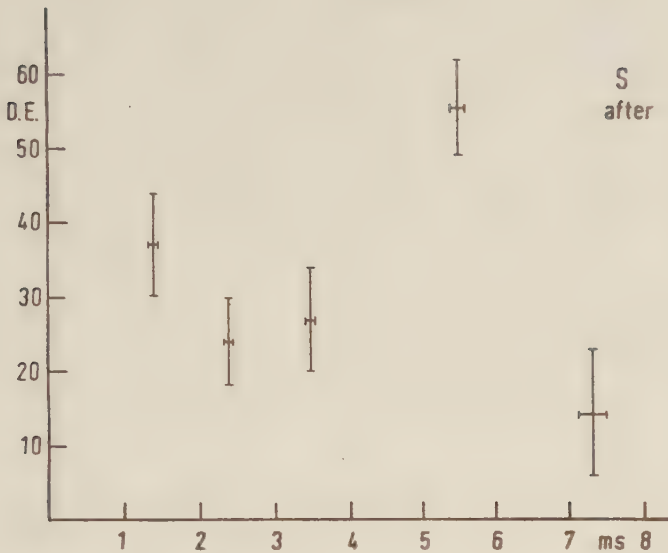


Bild A 10 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A,B,C,D nach Lärmbeschallung.
Lärmsituation : III(Stille)
(10 D.E. = 82.5 nV)

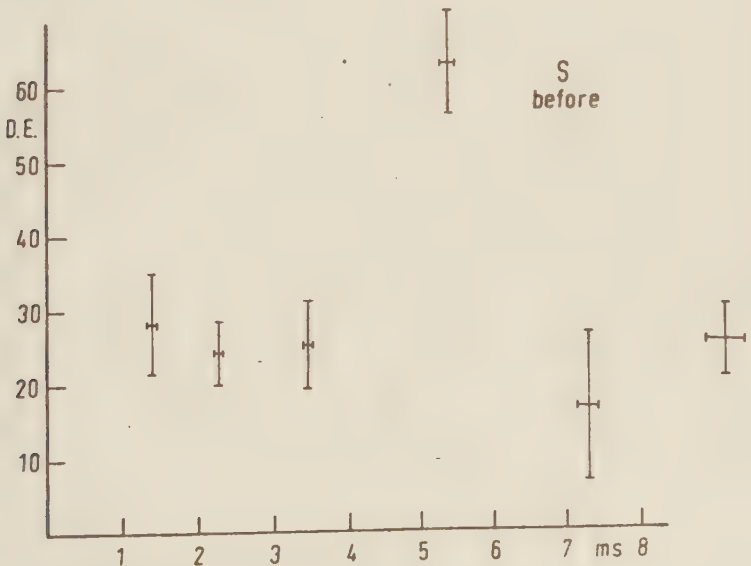


Bild A 9 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor Lärmbeschallung.
Lärmsituation : III(Stille)
(10 D.E. = 82.5 nV)

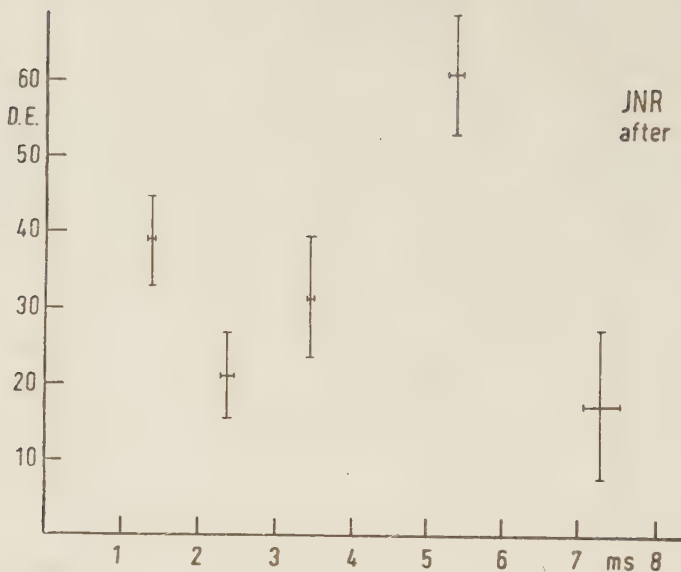


Bild A 12 Mittelwerte(±s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstampfpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A,B,C,D nach Lärmbeschallung. Lärmsituation : IV(Impulsärm regelmäßig)
(1σ D.E. = 82.5 nV)

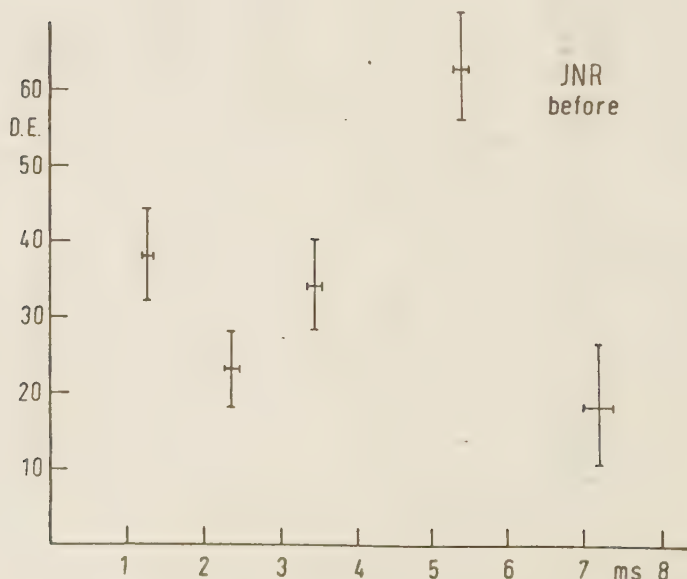


Bild A 11 Mittelwerte(±s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstampfpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor Lärmbeschallung. Lärmsituation : IV(Impulsärm regelmäßig)
(1σ D.E. = 82.5 nV)

- 131 -

JNJ
after

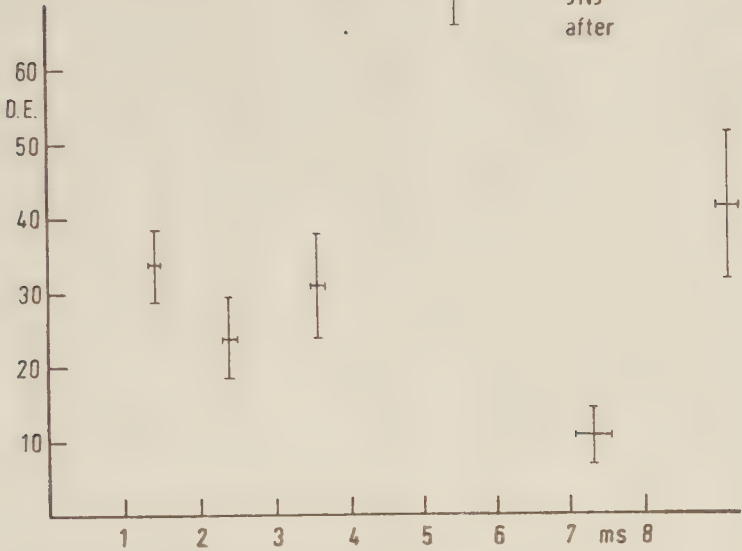


Bild A 14 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien A,B,C,D nach Lärmbeschallung.
Lärmsituation : V (Impuls-lärm unregelmäßig)
(10 D.E. = 82.5 nV)

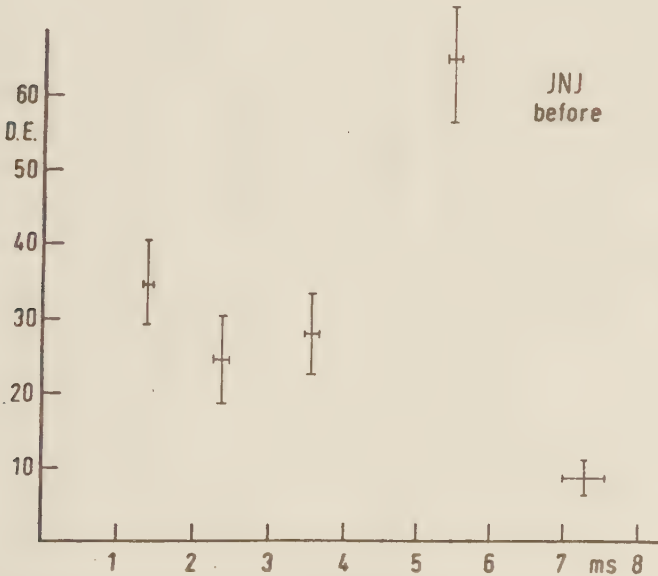
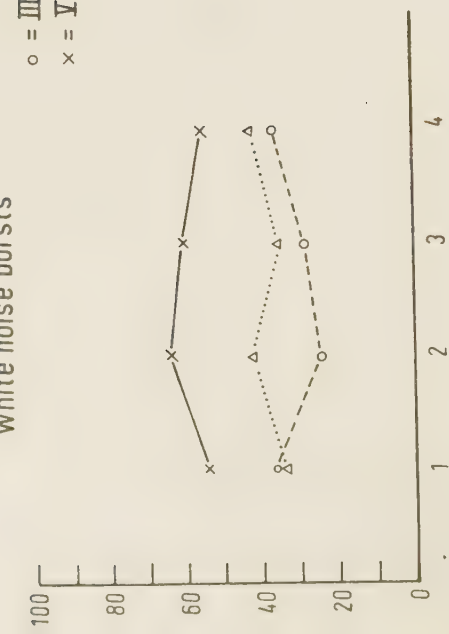


Bild A 13 Mittelwerte($\pm$ s) der Amplituden- und Latenzwerte der Potentiale I,II,III,V,VI,VII des clickevozierten Hirnstammpotentials, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor Lärmbeschallung.
Lärmsituation : V (Impuls-lärm unregelmäßig)
(10 D.E. = 82.5 nV)

Δ = I
○ = III
x = V

White noise bursts



WNB
after

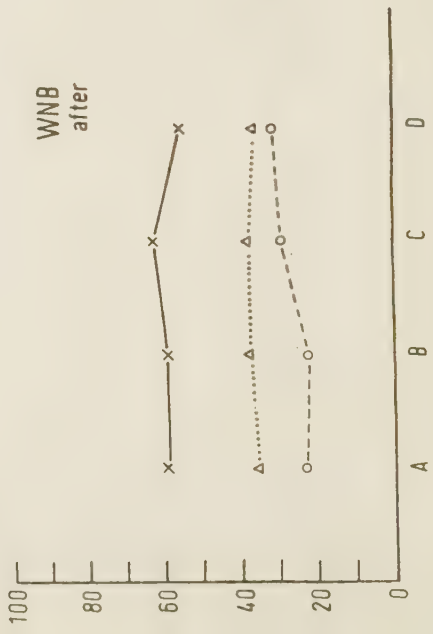
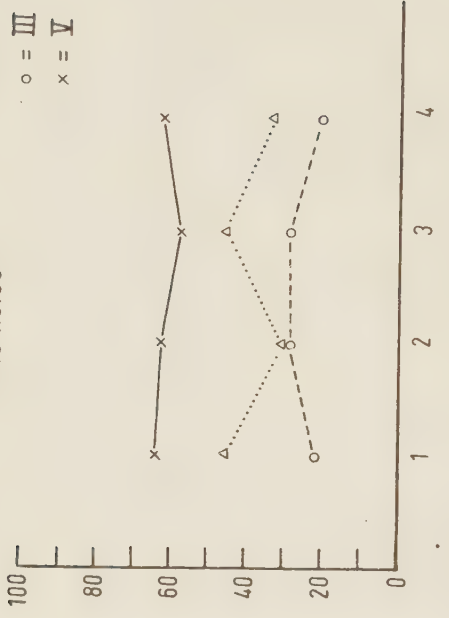


Bild A 16 Amplituden der Potentiale I, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbe-
schallung.

Δ = I
○ = III
x = V

White noise



WN
after

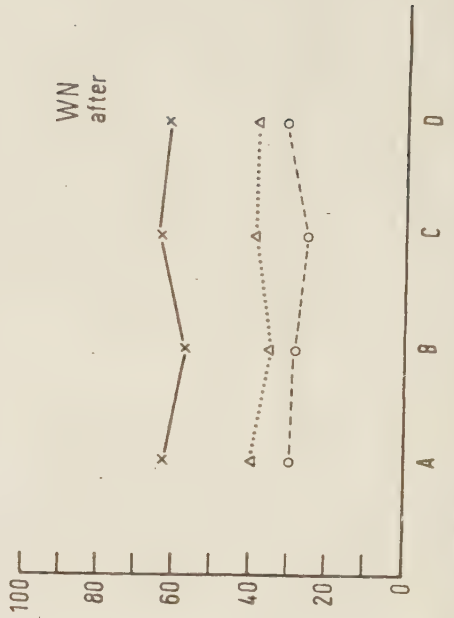


Bild A 15 Amplituden der Potentiale I, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbe-
schallung.

Impulse noise (reg.)

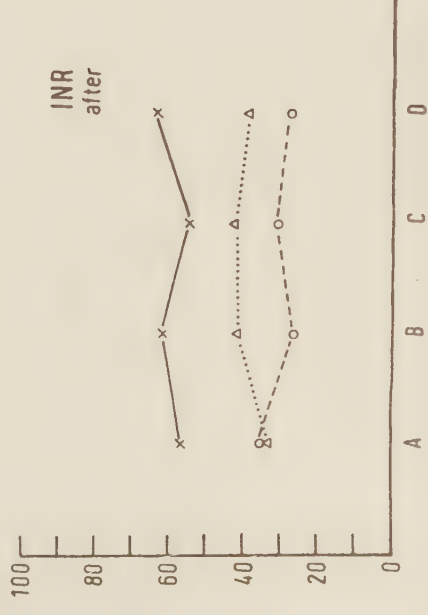
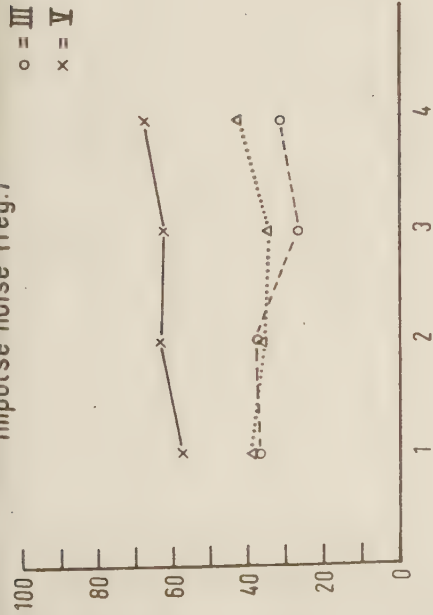


Bild A 18 Amplituden der Potentiale I, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung. Lärmintensität IV (Impulsärm regelmäßig), $10 E = 82.5 \text{ nV}$

Impulse noise

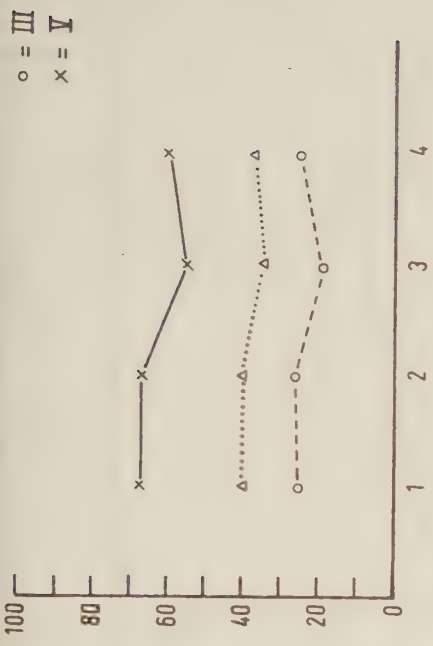
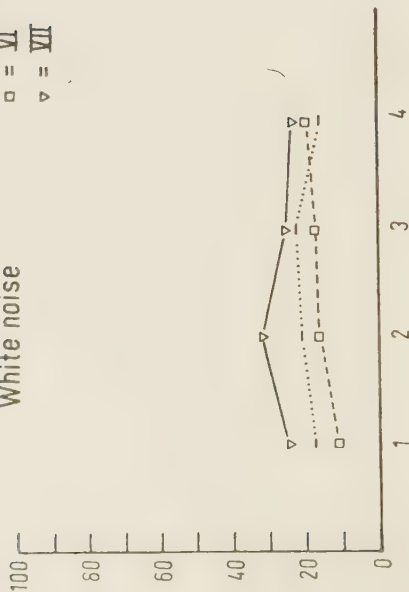


Bild A 17 Amplituden der Potentiale I, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung. Lärmintensität III (Stille), $10 E = 82.5 \text{ nV}$

- = II
□ = VI
▽ = VII

White noise



WN
after

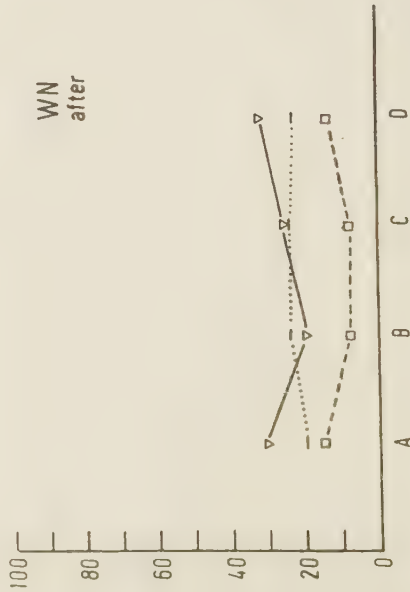
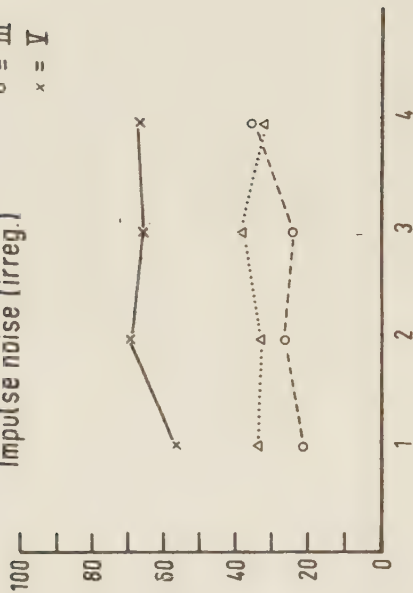


Bild A 20 Amplituden der Potentiale II, VI, VII, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeeinflussung.

Impulse noise (irreg.)



JNJ
after

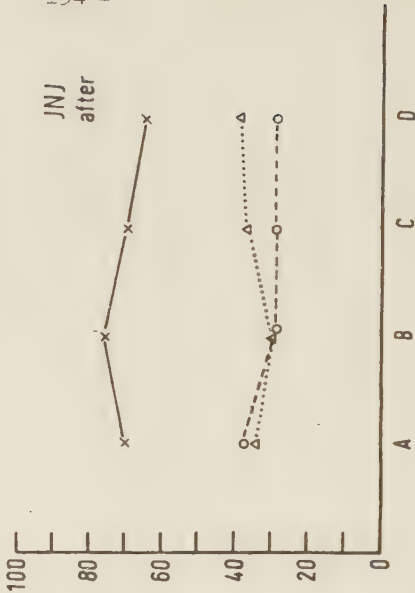
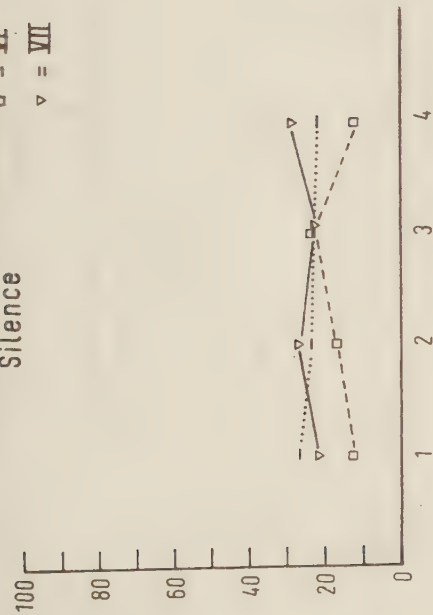


Bild A 19

Amplituden der Potentiale I, III, V, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeeinflussung.

□ = VI
▽ = VII

Silence



S
after

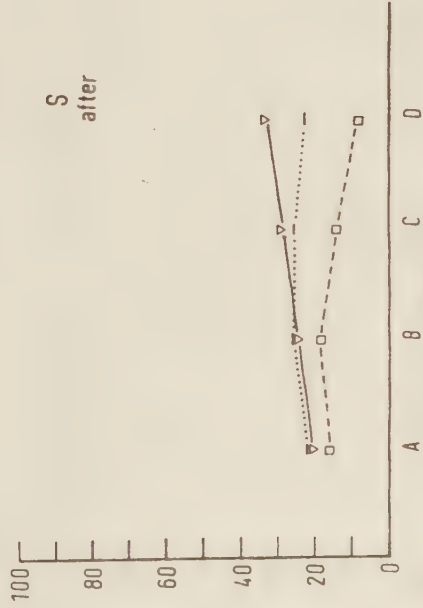
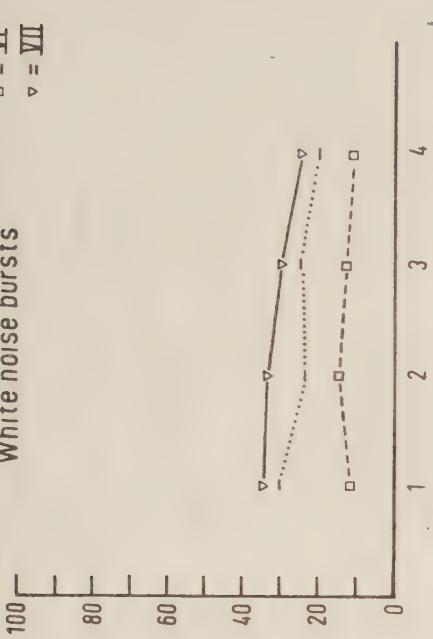


Bild A 22 Amplituden der Potentiale II, VI, VII, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung. Lärmexposition III (Stille), $10 \text{ E} = 82.5 \text{ nV}$

White noise bursts



WNB
after

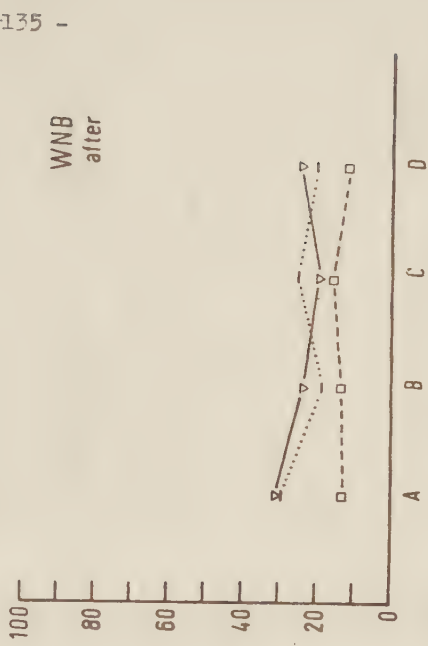
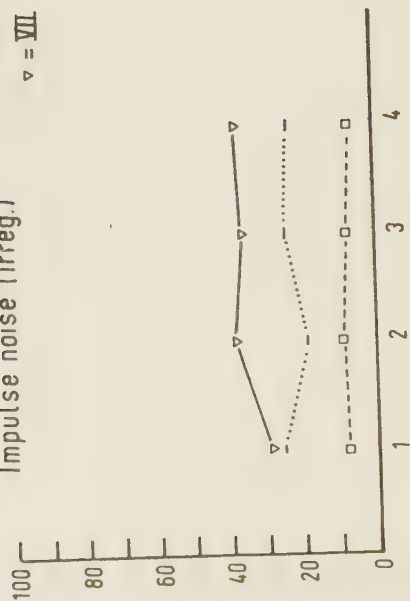


Bild A 21 Amplituden der Potentiale II, VI, VII, hervorgerufen durch die Clickserien 1, 2, 3, 4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung. Lärmexposition II (Bursts aus Weisses Rauschen), $10 \text{ E} = 82.5 \text{ nV}$

- = II
□ = VI
▽ = VII

Impulse noise (irreg.)



JNJ
after

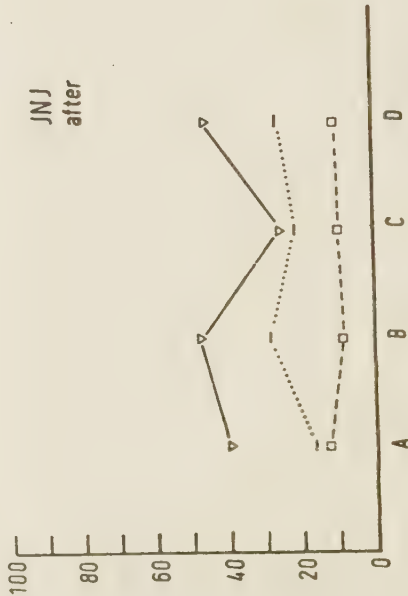
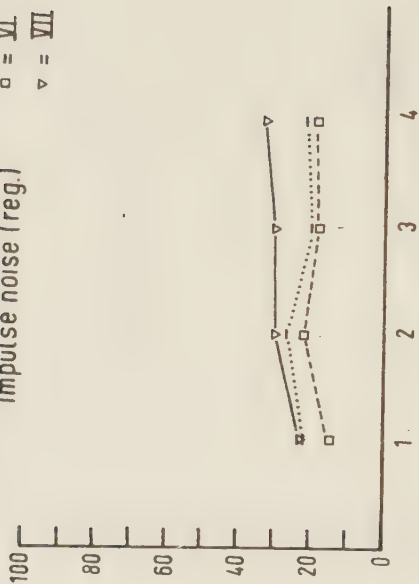


Bild A 24

Amplituden der Potentiale II, VI, VII, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung.
Lärmexposition V (Impulslehrs unregelmäßig), $10 E = 82.5 \text{ nV}$

- = II
□ = VI
▽ = VII

Impulse noise (reg.)



JNR
after

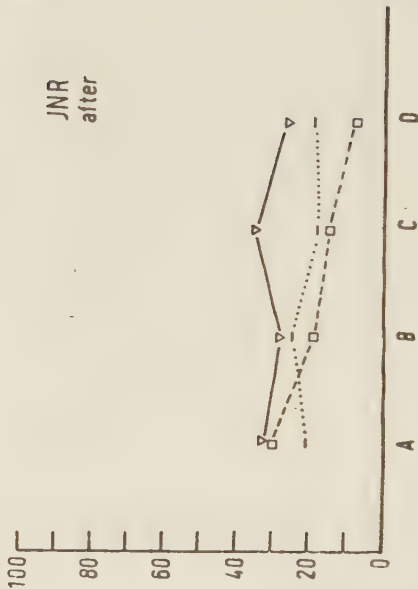


Bild A 23

Amplituden der Potentiale II, VI, VII, hervorgerufen durch die Clickserien 1,2,3,4 vor bzw. A, B, C, D nach Lärmbeschallung.
Lärmexposition IV (Impulslehrs regelmäßig), $10 E = 82.5 \text{ nV}$

Lebenslauf

Personalien: Theo Neudeck, geb. 28.09.1955
in Miesenheim, jetzt Andernach,
Rheinland-Pfalz
Familienstand: Verheiratet
Eltern: Reinhold Neudeck, Masseur
und Barbara Neudeck, geb. Höfer

Ausbildung: 1962 - 1966 Volksschule in Miesenheim
1966 - 1974 Kurfürst-Salentin-Gymnasium
in Andernach
Reifezeugnis vom 20.5.1974
1.10.74 Eintritt in die Bundeswehr
als Sanitätsoffiziersanwärter
1974 - 1981 Studium der Humanmedizin
an der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
1.6.81 - 30.7.82 Assistenzarzt am Bun-
deswehrkrankenhaus Amberg, Abt. Innere
Medizin und Chirurgie,
z.Zt. Truppenarzt beim Luftwaffenaus-
bildungsregiment III in Roth/Nürnberg

Prüfungen: Ärztliche Vorprüfung am 23.9.1976
Erster Abschnitt der Ärztlichen Prü-
fung am 20.9.1977
Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prü-
fung am 1.4.1980
Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prü-
fung, schriftlicher Teil am 7.4.81,
mündlicher Teil am 14.5.81
Approbation als Arzt am 22.5.81

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197